

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



TESIS

**ELABORACIÓN DE UN SISTEMA VOLUMÉTRICO EN LA UMAFOR
303 SIERRA LA LAGUNA, PARA MEZQUITE (*Prosopis articulata*)
Y MAUTO (*Lysiloma divaricata*)**

PRESENTA

ING. JESÚS EDUARDO SILVA GARCÍA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

NOVIEMBRE, 2017

**ELABORACIÓN DE UN SISTEMA VOLUMÉTRICO EN LA UMAFOR
303 SIERRA LA LAGUNA, PARA MEZQUITE (*Prosopis articulata*)
Y MAUTO (*Lysiloma divaricata*)**

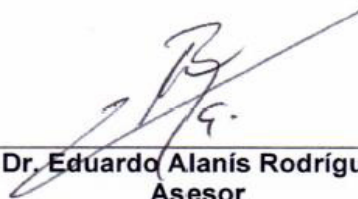
APROBACIÓN DE TESIS



Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
DIRECTOR



Dr. Marco Aurelio González Tagle
Asesor



Dr. Eduardo Alanís Rodríguez
Asesor

Diciembre, 2017

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Guadalupe y mi abuelita Amalia.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Gerardo y abuelito Luis.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis familiares.

A mi hermanas Nayeli y Maricruz y hermanos Raziell y Edgar por ser grandes ejemplos y de los cuales aprendí de aciertos y de momentos difíciles; a mi tío Jesús por el gran apoyo incondicional en todo momento, a mi tías Rosario y Luisa, así como a mi tío Juan y José y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Gracias a ustedes!

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para la realización de mis estudios con grado de maestría.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por la oportunidad de ser parte de su programa de posgrado, al personal de la misma por sus excelentes atenciones, facilidades otorgadas y trato fraternal.

A la plantilla de docentes de la FCF, gracias por los conocimientos transmitidos y por su amable trato.

Al Dr. Oscar Aguirre, por ser director de tesis, por su apoyo profesional, académico y moral, pero sobre todo por la confianza brindada hacia mi persona.

Al grupo consultor ASAMYFOR S.C. por los apoyos de equipo y personal para la realización del estudio y tesis, en especial al Ing. Rogelio Upalia Bonola, Ing. Flavio Moreno Aquino, Ing. Jesús Manuel Rascón Ayala, Ing. Jazmín Rodríguez, Ing. Guadalupe García Simental e Ing. Ángel Estupiñán, por compartir sus conocimientos, por el trato tan cálido, la amistad sincera y por sus aportes para la realización de la tesis.

A la Comisión Nacional Forestal por ser una fuente importante de financiamiento para la realización del estudio.

A mis padres Guadalupe y Gerardo, así como a mis abuelos Luis y Amalia por su apoyo incondicional para la realización de esta tesis y por ser mi fuente de inspiración personal.

A mis compañeros de cursos en la Maestría, por las agradables pláticas y aportaciones.

INDICE

LISTA DE TABLAS	IV
LISTA DE FIGURAS	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
3. OBJETIVOS	6
3.1 Objetivo General	6
3.2 Objetivos Específicos	6
4. MATERIALES Y MÉTODOS	7
4.1 Localización del área de estudio	7
4.2 Aspectos Físicos	8
4.2.1 Clima	8
4.2.2 Geología y morfología	8
4.2.3 Topografía	9
4.2.4 Suelos	11
4.2.5 Hidrología superficial y subterránea	11
4.2.5.1 Corrientes superficiales	11
4.2.6 Cuerpos de Agua	12
4.3 Aspectos Biológicos	12
4.3.1 Vegetación	12
4.3.1.1 Matorral xerófilo	13
4.3.1.1.1 Matorral sarcocaulé	13
4.3.1.1.2 Matorral sarcocrasicaule	14
4.3.1.2 Selva baja caducifolia y subcaducifolia	14
4.3.1.3 Vegetación de galería	15
4.3.2 Fauna Silvestre	15
4.3.2.1 Insectos	15
4.3.2.2 Herpetofauna	15
4.3.2.3 Ornitofauna	16

4.3.2.4 Mastofauna	17
4.4 Metodología	18
4.4.1 Selección de la muestra	18
4.4.2 Variables de medición	18
4.4.3 Determinación y cálculo de volumen comercial.....	20
4.4.4 Modelos de volumen	21
4.4.5 Criterios para la bondad de ajuste de los modelos.....	23
4.4.6 Análisis de heterocedasticidad	25
4.4.7 Test de White	25
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
5.1 Estadísticos descriptivos para Mezquite.....	28
5.2 Tendencia de los datos de Mezquite	28
5.3 Tarifa de volumen de una entrada para Mezquite	29
5.3.1 Corrección de la heterocedasticidad	30
5.4 Tarifa de volumen de dos y tres entradas para Mezquite	31
5.4.1 Corrección de la heterocedasticidad	32
5.5 Estadísticos descriptivos para Mauto	33
5.6 Tendencia de los datos para Mauto.....	34
5.7 Tarifa de volumen de una entrada para Mauto	34
5.7.1 Corrección de la heterocedasticidad	35
5.8 Tarifa de volumen de dos y tres entradas para Mauto.....	36
5.8.1 Corrección de la heterocedasticidad	38
6. CONCLUSIONES.....	41
7. BIBLIOGRAFÍA	42
8. ANEXOS	47
8.2 Tabla de volumen de dos entradas para <i>Prosopis articulata</i> (Mezquite) .	48
8.3 Tabla de volumen de una entrada para <i>Lysiloma divaricata</i> (Mauto)	49
8.4 Tabla de volumen de dos entrada para <i>Lysiloma divaricata</i> (Mauto)	50
8.5 Formato para la captura de datos ecologico, silvícolas y dasométricos requeridos para el estudio	51

8.6 localización de los predios y ejidos donde se ubicó la muestra de árboles correspondientes para el estudio volumetrico	52
8.7 Anexo fotográfico	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UMAFOR 303, “Asociación Regional de Productores Forestales Sierra La Laguna, A.C.”	7
Tabla 2. Geología del Municipio de La Paz, B.C.S	8
Tabla 3. Geología del Municipio de Los Cabos, B.C.S	9
Tabla 4. Topoformas del municipio de La Paz, B.C.S.....	10
Tabla 5. Topoformas del municipio de Los Cabos, B. C. S.....	10
Tabla 6. Cuencas, subcuencas y porcentaje de superficie que abarcan en el municipio de La Paz, B.C.S.	11
Tabla 7. Cuencas, subcuencas y porcentaje de superficie que abarcan en el municipio de Los Cabos, B.C.S	12
Tabla 8. Ecuaciones de una entrada para estimar el volumen de Mezquite y Mauto.....	22
Tabla 9. Ecuaciones de dos y más entradas para estimar el volumen de Mezquite y Mauto	23
Tabla 10. Estadísticos descriptivos de la base de datos para Mezquite	28
Tabla 11. Estadísticos de bondad de ajuste y parámetros de las ecuaciones de una entrada para Mezquite	29
Tabla 12. Estadísticos de ajuste para Mezquite corregidos por Mínimos Cuadrados Ponderados para el modelo M2	31
Tabla 13. Estadísticos de bondad de ajuste y parámetros de las ecuaciones de dos y tres entradas para Mezquite.....	32
Tabla 14. Estadísticos de ajuste corregidos por Mínimos Cuadrados Ponderados para el modelo M16 para Mezquite.....	33
Tabla 15. Estadísticos descriptivos de la base de datos para Mauto.....	33
Tabla 16. Estadísticos de bondad de ajuste y parámetros de las ecuaciones de una entrada para Mauto.....	35
Tabla 17. Estadísticos de ajuste corregidos por Mínimos Cuadrados Ponderados para el modelo M2 para Mauto	36
Tabla 18. Estadísticos de bondad de ajuste y parámetros de las ecuaciones de dos y tres entradas para Mauto	37

Tabla 19. Estadísticos de ajuste para Mauto corregidos por Mínimos Cuadrados Ponderados para el modelo M18	38
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de puntos de medición en las diferentes secciones de árboles	19
Figura 2. Xilómetro graduado con especificaciones y características técnicas requeridas para el estudio	21
Figura 3. Gráficas de dispersión de los pares de datos de Volumen-Diámetro y Volumen-Altura para Mezquite.....	29
Figura 4. Volúmenes predichos contra residuales con evidencia (a) y corrección de heterocedasticidad (b) en la ecuación M2 para Mezquite	31
Figura 5. Volúmenes predichos contra residuales con evidencia (a) y corrección de heterocedasticidad (b) en la ecuación M16 para Mezquite.....	33
Figura 6. Volúmenes predichos contra residuales con evidencia (a) y corrección de heterocedasticidad (b) en la ecuación M2 para Mauto	36
Figura 7. Volúmenes predichos contra residuales con evidencia (a) y corrección de heterocedasticidad (b) en la ecuación M18 para Mauto	38

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue desarrollar un sistema volumétrico ecorregional en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, que asista al manejador forestal en la elaboración de los programas de manejo forestal, a través de la estimación confiable de las existencias volumétricas y la capacidad productiva de los ecosistemas en función de sus características actuales.

Se seleccionaron predios con potencial productivo que conforman la UMAFOR 303 Sierra La Laguna. Se derribaron 80 árboles de diferentes diámetros, abarcando todas las categorías diamétricas y se midieron las variables: diámetro normal (D), diámetro de la base (DB) altura total (H) y diámetro de copa (DC), así como los diámetros y longitudes de cada una de las ramas presentes, mayores a 6 cm de diámetro en su base; para el cálculo del volumen de cada árbol se utilizó el Xilómetro. Se probaron diferentes modelos de una, dos o más variables independientes para estimar el volumen total. Para la selección del mejor modelo se tomaron en cuenta la RCME, R^2 y el nivel de significancia de los parámetros. El ajuste de las ecuaciones se realizó por Mínimos Cuadrados Ordinarios y Mínimos Cuadrados Ponderados.

Para la predicción del volumen total en función del diámetro, el modelo alométrico de Berkhout presentó mejores ajustes, con R^2 de 0.9053 y RCME de 0.0432 para *Prosopis articulata* y R^2 de 0.8178, así como RCME de 0.1048 para *Lysiloma divaricata*. Utilizando modelos con las variables independientes altura y diámetro para predicción del volumen total, los mejores ajustes se obtuvieron mediante el modelo de Schumacher-Hall, el cual arrojó valores de 0.9139 en R^2 y RCME de 0.0411 para la especie de *Prosopis articulata*. Para el caso de *Lysiloma divaricata* el modelo de mejor ajuste fue el de Spurr potencial con R^2 de 0.7936 y un valor de RCME de 0.1118.

Palabras clave: UMAFOR, Estimación, Predicción, Xilómetro, Modelo, Volumen.

ABSTRACT

The objective of the present study was to develop an ecoregional volumetric system in the Sierra La Laguna UMAFOR 303, which assists the forest manager in the elaboration of forest management programs, through the reliable estimation of volumetric stocks and the productive capacity of the Forests according to their current characteristics.

We selected lands with productive potential that make up the UMAFOR 303 Sierra La Laguna. 80 trees of different diameters were demolished, covering all diametric categories and measured the variables: normal diameter (D), base diameter (DB) total height (H) and cup diameter (DC), as well as diameters And lengths of each of the present branches, greater than 6 cm in diameter at its base; To calculate the volume of each tree was used the Xilometer. Different models of one, two or more independent variables were tested to predict total volume. For the selection of the best model, the RCME, R^2 and the level of significance of the parameters were taken into account. The adjustment of the equations was done by Ordinary Least Squares and Weighted Least Squares.

For the prediction of total volume as a function of diameter, the Berkhout allometric model presented better adjustments, with R^2 of 0.9053 and RCME of 0.0432 for *Prosopis articulata* and R^2 of 0.8178, as well as an RCME of 0.1048 for *Lysiloma divaricata*. Using models with independent variables, considering height and diameter for total volume prediction, the best adjustments were obtained using the Schumacher-Hall model, which yielded values of 0.9139 in R^2 and RCME of 0.0411 for the *Prosopis articulata* species. For the case of *Lysiloma divaricata* the best fit model was potential Spurr with R^2 of 0.7936 and an RCME value of 0.1118.

Key words: UMAFOR, Estimation, Prediction, Xylometer, Model, Volume.

1. INTRODUCCIÓN

Se considera a los recursos naturales maderables y no maderables como una parte fundamental del desarrollo de la economía nacional, los cuales manejados de manera sustentable representan un potencial de progreso para las presentes y futuras generaciones.

El mezquite constituye una parte importante de la flora nacional (Rzedowski, 1978; Gómez, 2008; Hernández, *et. al.*, 2014). Dentro de la región árida y semiárida de Baja California Sur, el Mezquite y el Mauto son de gran interés, ya que los habitantes de diversas zonas los han aprovechado desde hace décadas. Estas especies son de utilidad para la sociedad rural por los beneficios que presentan, tales como: alimento, usos medicinales, forrajeros, producción de carbón y materiales para la construcción y combustibles, principalmente.

El aprovechamiento de maderas de Mezquite y Mauto representa una actividad complementaria para obtener ingresos económicos importantes, llegando a convertirse incluso en la principal actividad de varias comunidades de la región. Sin embargo, el desconocimiento de técnicas y normatividad en lo referente a la utilización de especies forestales, sobre todo de aquellas que se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010, ha causado aprovechamiento excesivo en estas especies, lo cual puede poner en riesgo su regeneración natural y aprovechamientos futuros.

En los bosques es esencial el conocimiento de las existencias maderables que poseen, es necesario tanto para los manejadores como para los propietarios. El conocimiento debe ser lo más exacto posible de una masa forestal. Los encargados de manejar los bosques lo requieren para una mejor planificación y cuantificación de los recursos existentes. De esta manera se puede aumentar la eficiencia del proceso de manejo y elaborar estadísticas actualizadas (Vargas *et al.*, 2012).

Conocer la cantidad o volumen de madera proveniente del aprovechamiento de árboles en potreros, bosques o plantaciones no es solo de interés para

industriales, madereros o técnicos forestales, sino también para productores interesados en la comercialización de madera en pie o productos obtenidos de la corta y transformación de árboles. Por ello, hay que tener un conocimiento básico de las técnicas apropiadas para cuantificar la madera en pie o en productos forestales (tablas, vigas, etc.), con una precisión aceptable para su comercialización (West 2009).

La determinación del volumen comercial en pie de las masas forestales es necesaria tanto para la gestión sostenible de los recursos madereros como para la investigación forestal. Puesto que la medición del volumen en una muestra de árboles es costosa, habitualmente se emplean ecuaciones para estimar el volumen de los árboles individuales a partir de variables fáciles de medir como son el diámetro normal (D) y la altura total (H). Las herramientas básicas para cuantificar el crecimiento y la producción forestal son proporcionadas por la dasometría, la cual provee un conjunto de técnicas de medición y estimación de las dimensiones de árboles y bosques (Rojas 1977). La estimación de las existencias y el crecimiento del componente del árbol -ya sea volumen, biomasa o carbono- es indispensable para el manejo y aprovechamiento de los bosques, plantaciones, sistemas silvopastoriles y sistemas agroforestales.

Las tablas de volumen son una herramienta muy útil para un estricto control de los aprovechamientos maderables; esto facilita la ejecución del manejo sustentable de los bosques. Con el uso cotidiano de estas tablas, los prestadores de servicios técnicos forestales, estiman el volumen de madera de los árboles de cada cosecha anual, midiendo el diámetro y la altura de los árboles (Acosta *et al.*, 2008).

A pesar de la importancia que pueden representar los recursos forestales en la economía de Baja California Sur, aun no se han presentado estudios definitivos sobre la validez y exactitud de las estimaciones del crecimiento y producción volumétrica a nivel de especie, por lo que es necesario validar, y de ser el caso, desarrollar sistemas volumétricos para todas las especies de mayor importancia, de tal forma que se cuente con una herramienta específica validada que se utilice

Elaboración de un sistema volumétrico en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, para Mezquite
(*Prosopis articulata*) y Mauto (*Lysiloma divaricata*)

para la gestión silvícola de las masas forestales en las zonas de Baja California
Sur.

2. ANTECEDENTES

Existen una gran variedad de modelos de crecimiento forestal. Los primeros se construyeron en Alemania a finales del siglo XVIII (Paulsen, 1795 –citado por Assmann, 1970) para masas naturales de densidad completa, con el fin de dirigir la ordenación de los bosques hacia masas con esas características, denominándose tablas de producción normales (Madrigal *et al.*, 1999, Davis *et al.*, 2001). Desde entonces han evolucionado progresivamente hasta llegar a los más modernos y complejos modelos de árbol individual.

Las ecuaciones de volumen, representadas en forma de “tablas de volúmenes”, se remontan a la segunda mitad del siglo XVIII (Husch, 1963). El inicio del uso de dichas tablas en la forma conocida actualmente, está registrado en el año 1804, en Alemania, para la cubicación de especímenes de Haya (*Fagus sylvatica* L.); Henrich Cotta recibió el crédito de haber elaborado la primera tabla de volumen para la especie indicada (Spurr, 1952 citado por Acosta *et al.*, en 2008).

Para el caso de México, los primeros trabajos reportados fueron los de Martínez (1938), quien elaboró tablas de volumen y coeficientes para árboles de *Pinus teocote Schl. et Cham.* con y sin corteza, calculados para categorías diamétricas de 5 en 5 cm y alturas de 2 en 2 m.

Las funciones de perfil del tronco fueron inicialmente introducidas por Höjer en 1903 (citado en Behre, 1923) como un intento de describir el perfil del tronco de los árboles y desde entonces este ha sido un tema de gran interés para los forestales (e.g., Kozak, 1988, 2004; Newnham, 1992; Riemer *et al.*, 1995; Bi, 2000; Fang *et al.*, 2000). La construcción de una ecuación de volumen con clasificación de productos a partir de una función del perfil del tronco se basa en la capacidad de esta función para describir el diámetro del tronco a distintas alturas.

Las ecuaciones de volumen porcentual o ecuaciones de razón de volumen predicen la proporción entre el volumen comercial hasta un determinado punto del tronco y el volumen total del mismo. Este método fue introducido por Burkhart

(1977) y ha sido ampliamente usado desde entonces (e.g., Cao *et al.*, 1980; Van Deusen *et al.*, 1981; Reed y Green, 1984; Gregoire y Schabenberger, 1996; Tomé *et al.*, 2001 citado por Barrio, 2007).

Meza (2002) estudió las poblaciones de Mezquite (*Prosopis spp*) en el estado de Baja California Sur, dentro de los municipios de la Paz, Comondú y Loreto, donde las especies estudiadas fueron *P. articulata*, *P. palmeri* y *P. glandulosa*. En este estudio se aplicaron diferentes tipos de muestreo, consistiendo principalmente en la segmentación de tallos y ramas, utilizando una clasificación de diámetros y longitudes, de esta manera se calculó su volumen para cada segmento, cuya suma daba el volumen total por árbol mediante la aplicación del método de Huber ($V=Am*L$).

En el Estado de Baja California Sur, se desarrolló un estudio biométrico para especies forestales no maderables, en el cual se ajustaron modelos matemáticos para determinar el crecimiento de algunas especies.

En la actualidad se han realizado muy pocos estudios para los bosques y selvas del estado de Baja California Sur, encaminados a validar o desarrollar sistemas biométricos, principalmente ecuaciones de volumen, que puedan ser incorporados en los sistemas de planeación del manejo forestal.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Desarrollar un sistema volumétrico que asista al manejador forestal en la elaboración de programas de manejo forestal sustentable, a través de la estimación confiable de las existencias volumétricas y la capacidad productiva de los bosques y selvas del área que comprende la UMAFOR 303, en función de sus características actuales.

3.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar los modelos que mejor ajusten para la estimación del volumen total de *Prosopis articulata* y *Lysiloma divaricata*.
- Construir una tabla de volumen total para *Prosopis articulata* y *Lysiloma divaricata*, que permita obtener el volumen maderable de este género en la UMAFOR 303.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del área de estudio

El proyecto se llevó a cabo en predios pertenecientes a la UMAFOR 303, “Asociación de Productores Forestales Sierra La Laguna, A.C.”. La UMAFOR 303, se ubica al Sur del Estado de Baja California Sur, y comprende dos municipios, La Paz y Los Cabos.

La superficie total de la UMAFOR 303 es de 1, 389, 375.107 ha., de las cuales 1, 034, 168.134 ha., corresponden a La Paz y 345, 151 ha., a Los Cabos.

Tabla 1. Coordenadas UMAFOR 303, “Asociación Regional de Productores Forestales Sierra La Laguna, A.C.”.

Coordenadas geográficas UMAFOR 303 Sierra La Laguna						
V	Latitud			Longitud		
0	24°	49'	19.55"	110°	51'	29.25"
1	24°	32'	40.59"	111°	1'	21.34"
2	24°	16'	1.09"	111°	9'	5.75"
3	24°	8'	6.11"	110°	52'	25.57"
4	23°	55'	31.19"	110°	38'	10.88"
5	23°	44'	0.90"	110°	25'	45.41"
6	24°	2'	50.51"	110°	22'	42.07"
7	23°	53'	14.31"	110°	12'	21.30"
8	24°	5'	46.74"	110°	9'	0.40"
9	23°	50'	39.71"	109°	53'	4.67"
10	23°	41'	10.57"	110°	3'	32.07"
11	23°	32'	46.11"	110°	13'	39.80"
12	23°	16'	3.87"	110°	4'	35.93"
13	23°	24'	41.71"	109°	48'	51.60"
14	23°	32'	30.68"	109°	36'	38.99"
15	22°	58'	31.88"	109°	55'	16.96"
16	23°	8'	17.15"	109°	45'	10.04"
17	23°	19'	21.28"	109°	30'	52.51"

4.2 Aspectos Físicos

4.2.1 Clima

El clima dominante en la región es el muy seco semiárido (BWh), seguido del muy seco cálido y cálido (BW(h')), luego seco semiárido BSh, y solo en la parte de la Sierra La Laguna se encuentran climas templados como: templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad C(w₀) y el templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media C(w₁).

4.2.2 Geología y morfología

- Cenozoico superior volcánico (mioceno a reciente). Rocas volcánicas (lavas, brechas y tobas) principalmente basálticas y andesíticas. Permeabilidad media a alta (localizada).
- Terciario continental, cenozoico superior e inferior clástico. Areniscas y conglomerados predominantemente. Permeabilidad media a alta (generalizada).
- Pleistoceno y recientes terrazas marinas, gravas, arenas y limos. Depósitos aluviales y lacustres. Permeabilidad media a alta (generalizada)
- Cenozoico, mesozoico y paleozoico intrusivo. Rocas intrusivas graníticas, granodioritas y doleritas de permeabilidad baja (localizada).
- Mesozoico, paleozoico y precámbrico. Rocas metamórficas: esquistos, cuarcitas y gneiss. Permeabilidad baja (localizada).

Tabla 2. Geología del Municipio de La Paz, B.C.S

ERA		PERIODO		ROCA O SUELO		% DE SUPERFICIE
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	
C	CENOZOICA	Q	CUATERNARIO	(al)	Aluvial	10.94
				(ar)	Arenisca	1.85
				(ar-cg)	Arenisca-conglomerado	0.85
				(cg)	Conglomerado	7.57
				(eo)	Eólico	4.21
				(la)	Lacustre	0.39
		T	TERCIARIO	(ar)	Arenisca	12.29
				(ar-cg)	Arenisca-conglomerado	15.65
				(ar-ta)	Arenisca-toba ácida	4.33
				(bvi)	Brecha volcanica intermedia	0.49

Elaboración de un sistema volumétrico en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, para Mezquite (*Prosopis articulata*) y Mauto (*Lysiloma divaricata*)

				(cg)	Conglomerado	1.08
				(cz-lu-ar)	Caliza-lutita-arenisca	7.42
				(lm-ar)	Limolita-arenisca	1.78
				(ta)	Toba ácida	2.3
				(ti-bvi)	Toba intermedia - brecha	
					Volcánica intermedia	0.29
				(vc)	Volcanoclástica	10.55
M	MESOZOICA	K	CRETÁCICO	(ga)	Gabro	0.9
				(gd)	Granodiorita	0.97
				(gd-tn)	Granodiorita-tonalita	6.23
				(gr)	Granito	4.98
P	PALEOZOICA	ND		(C. met.)	Complejo metamórfico	0.6
				(gn)	Gneis	1.53
				(ms)	Metasedimentaria	2.36
				OTRO		0.21

Tabla 3. Geología del Municipio de Los Cabos, B.C.S

ERA		PERIODO		ROCA O SUELO		% SUP MPAL
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	
C	CENOZOICA	Q	CUATERNARIO	(al)	Aluvial	8.65
				(ar)	Arenisca	1.06
				(ar-cg)	Arenisca-conglomerado	1.51
				(cg)	Conglomerado	16.56
				(eo)	Eólico	0.29
				(ll)	Litoral	0.62
		T	TERCIARIO	(ar)	Arenisca	1.5
				(ar-cg)	Arenisca-conglomerado	1.56
				(cg)	Conglomerado	1.28
				(Bs)	Brecha sedimentaria	0.52
				(Lu-ar)	Lutita-arenisca	9.98
				(Vc)	Volcanoclástica	2.62
M	MESOZOICA	K	CRETÁCICO	(gd)	Granodiorita	2.76
				(gd-tn)	Granodiorita-tonalita	31.28
				(gn)	Gneis	0.25
				(gr)	Granito	8.92
		NA	NA	(C. met.)	Complejo metamórfico	1.12
	OTROS					0.29

4.2.3 Topografía

En las siguientes tablas se presenta la topografía presente dentro de los municipios que comprende la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, la cual está

Elaboración de un sistema volumétrico en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, para Mezquite (*Prosopis articulata*) y Mauto (*Lysiloma divaricata*)

caracterizada principalmente por sierras, llanuras, lomeríos, playa, mesetas y cañadas.

Tabla 4. Topoformas del municipio de La Paz, B.C.S.

PROVINCIA		SUBPROVINCIA		SISTEMA DE TOPOFORMA		% SUP MPAL
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	
1	PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA SUR	3	SIERRA LA GIGANTA	103	Sierra con mesetas	23.95
				204	Lomerío con bajadas	0.70
		4	LLANOS DE MAGDALENA a/	100	Sierra	0.94
				103	Sierra con mesetas	0.01
				204	Lomerío con bajadas	27.09
				300	Meseta	1.51
				402	Bajada con lomeríos	0.23
				500	Llanura	17.80
				508	Llanura con dunas	5.00
				P00	Playa o barra	0.13
		5	DEL CABO a/	100	Sierra	15.02
				204	Lomerío con bajadas	0.46
				220	Lomerío con cañadas	2.12
				400	Bajada	2.82
				402	Bajada con lomeríos	0.43
				500	Llanura	1.59
				600	Valle	0.20

a/Discontinuidad Fisiográfica

FUENTE: **INEGI**. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Fisiográfica, 1:1 000 000, serie I.

Tabla 5. Topoformas del municipio de Los Cabos, B. C. S.

PROVINCIA		SUBPROVINCIA		SISTEMA DE TOPOFORMA		% SUP MPAL
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	
1	PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA SUR	5	DEL CABO a/	100	Sierra	29.24
				102	Sierra con lomeríos	23.80
				204	Lomerío con bajadas	7.38
				220	Lomerío con cañadas	16.00
				304	Meseta con bajadas	3.24
				320	Mesetas con cañadas	15.01
				500	Llanura	5.33

4.2.4 Suelos

En la región de la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, se encuentra una gran variedad de suelos (Figura 7), dominando con un 60% el Regosol éutrico, seguido con un 11% el Yermosol háplico y 7.9% Xerosol háplico, Vertisol éutrico con el 3.2 y Cambisol crómico con el 3%, el resto compuesto por suelos Feozem, Litosol y Fluvisol.

4.2.5 Hidrología superficial y subterránea

4.2.5.1 Corrientes superficiales

Las corrientes presentes en la UMAFOR 303 en el municipio de La Paz son las siguientes: Las Liebres, San Jacinto-San Venancio, La Presa, El Carrizal, Guadalupe, Arroyo Grande, Santa Rita, El Novillo, El Cenizo, Arroyo Hondo, El Aguaje, Agua caliente-arroyo Grande, La palma, Palo Blancosa, Los Algodones, Las Pocitas-Soledad, El Cajoncito y La Vieja, todos ellos pertenecen a la región hidrológica RH3.

Para el caso de la parte que corresponde al municipio de Los Cabos se tienen: Salto de Chindo, El Torote, San José, San Lázaro, La Palma, Caduaño, Los Álamos-Las Piedras, San Dionisio, Cerro Blanco, Los Pocitos, Las Ardillas, Trinidad, El Salto, San Jorge, Palo parado, Arroyo de la Pintada y El Brinco-El Tule, todos pertenecen a la Región Hidrológica RH6, excepto Salto de Chindo que se encuentra en la RH3.

Tabla 6. Cuencas, subcuencas y porcentaje de superficie que abarcan en el municipio de La Paz, B.C.S.

REGIÓN		SUBCUENCA		SUBCUENCA		% SUP MPAL
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	
RH3	BAJA CALIFORNIA- OESTE (MAGDALENA)	A	A.CARACOL- A. CANDELARIA	a	A. Candelaria	1.12
				b	A. San Borja	1.34
				c	A. San Andrés	4.33
				d	A. El carrizal	13.67
				e	A. Paraíso	9.38
				f	A. Guadalupe	4.65
				g	A. Caracol	16.95

Elaboración de un sistema volumétrico en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, para Mezquite (*Prosopis articulata*) y Mauto (*Lysiloma divaricata*)

		B	A.VENANCIO- A.SALADO	a	A. Salado	14.38
				b	Bahía Magdalena	2.62
				c	A. Soledad	0.67
RH6	BAJA CALIFORNIA SUR-ESTE (LA PAZ)	A	LA PAZ-CABO SAN LUCAS	b	R. San José	0.02
				c	A. Santiago	0.65
				d	Las Palmas	13.17
				e	La Paz	4.34
				f	A. Datilar	5
		B	LORETO- BAHIA LA PAZ	a	Bahía La Paz	7.4
				b	Isla Santa Cruz	0.31

FUENTE: INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:250 000, serie

Tabla 7. Cuencas, subcuencas y porcentaje de superficie que abarcan en el municipio de Los Cabos, B.C.S

REGIÓN		SUBCUENCA		SUBCUENCA		% DE LA SUPERFICIE MUNICIPAL
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	
RH3	BAJA CALIFORNIA- OESTE (MAGDALENA)	A	A.CARACOL-A. CANDELARIA	a	A. Candelaria	8.83
				b	R. San Jacinto	0.58
				c	A. Santa Inés	0.45
RH6	BAJA CALIFORNIA SUR-ESTE (LA PAZ)	A	LA PAZ-CABO SAN LUCAS	a	Cabo San Lucas	12.82
				b	R. San José	33.07
				c	A. Santiago	40.38
				d	Las Palmas	3.87

FUENTE: INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:250 000, serie

I.

4.2.6 Cuerpos de Agua

En Los Cabos se tiene solo la presa San Lázaro y en el caso de La Paz se tienen las presas Buena Mujer y General Agustín Olachea Avilés (Santa Inés).

4.3 Aspectos Biológicos

4.3.1 Vegetación

Los factores físicos del ambiente favorecen el desarrollo de diferentes tipos de vegetación a lo largo de un gradiente altitudinal (Arriaga y Ortega, 1988), y están caracterizados por:

4.3.1.1 Matorral xerófilo

Ubicado desde el nivel del mar hasta los 500 m de altitud, incluyendo también mezquital. Este tipo de vegetación alberga muchos elementos característicos del desierto sonorense. Puede describirse como propio de un ambiente cálido y seco, que resulta en una relativa baja cobertura vegetal y escasa talla de sus componentes leñosos. Este tipo de vegetación cubre más de la mitad del territorio nacional (Rzedowski, 1978), en la entidad es dominante, pero en espacios reducidos, representados por dos comunidades denominadas: *matorral sarcocaula* y *matorral sarcocrasicaule*.

4.3.1.1.1 Matorral sarcocaula

Se presenta en superficies de escasa elevación sobre el nivel del mar, ocupando planicies aluviales y lomeríos bajos. Especies arbustivas representativas son: Lomboy blanco (*Jatropha cinerea*), Matacora (*J. cuneata*), Torote rojo (*Bursera microphylla*), Mezquite (*Prosopis spp*), Cardón pelón (*Pachycereus pringlei*), Pitahaya agria (*Machaerocereus gummosus*), Pitahaya dulce (*Lemairocereus thurberii*), Datilillo (*Yucca valida*), Palo Brasil (*Haematoxylon brassiletto*), Mauto (*Lysiloma divaricata*), Ciruelo (*Cyrtocarpa edulis*) y Palo Adán (*Fouquieria diguetii*).

Un estrato arbustivo bajo lo integran como especies dominantes: Chamizo (*Ruellia peninsularis*), Tabardillo (*Calliandra peninsularis*), Cabeza de ángel (*C. eriophylla*), Tabardillo cenizo (*Aeschynomene nivea*), Orégano (*Lippia palmeri palmeri*), Golondrinón (*Euphorbia magdalenae*) y Malva rosa (*Melochia tomentosa*). Dentro de las trepadoras se encuentran la Yuca (*Merremia aurea*), San Miguelito (*Antigonon leptopus*) y Ortiguilla (*Tragia amblyodontha*). Dentro de las anuales es posible encontrar: *Euphorbia eriantha*, Navajita (*Bouteloua annua*), *Pectis uniaristata*, *Cryptantha grayi*, Manzanilla blanca (*Perityle emoryi*), *Houstonia spp.*, *Nama coulteri*.

4.3.1.1.2 Matorral sarcocrasicaule

Este tipo de matorral presenta una vegetación con abundancia de plantas de tallos semi-suculentos (sarcocaulas) y cactáceas (crasicaules). Géneros típicos incluyen: *Fouquieria*, *Yuca*, *Pachycereus*, *Stenocereus* y *Prosopis*.

4.3.1.2 Selva baja caducifolia y subcaducifolia

Se encuentra distribuida de 350 a 800 msnm y cubre una extensión aproximada de 58,701 ha. La vegetación consiste de un estrato arbóreo, deciduo durante la temporada de sequía (noviembre-diciembre y febrero-julio); un arbustivo igualmente deciduo y finalmente uno rasante, compuesto tanto por especies anuales o semiperennes. Este último presenta una gran variabilidad de un año a otro, ya que se encuentra estrechamente condicionado a la intensidad de las lluvias. Comparando con otras comunidades similares, la selva baja caducifolia de Baja California Sur presenta una composición florística relativamente pobre con una gran influencia de especies propias del matorral, principalmente de cactáceas.

A pesar de que las formas de crecimiento arbustivas son las más abundantes para esta selva, son las especies arbóreas las que presentan una mayor cobertura e índice de valor de importancia (Arriaga y León, 1989); Breceda (1994) menciona que entre las especies que caracterizan a esta comunidad por tener el mayor índice están: Mauto (*Lysiloma divaricata*), Lomboy blanco (*Jatropha cinerea*) Palo escopeta (*Albizzia occidentalis*) y Palo blanco (*Lysiloma candida*).

Algunas especies que caracterizan a la selva baja caducifolia, particularmente dentro de los cañones y laderas de la serranía son: Cardón barbón (*Pachycereus pectenaboriginum*), Cajalosucho (*Plumeria acutifolia*) Chilicote (*Erythrina flabelliformis*) Caribe o Mala mujer (*Cnidoscolus angustidens*) Palo zorrillo (*Cassia emarginata*) Palo chino (*Pithecellobium mexicanum*) Datilillo (*Yucca valida*), y sobre todo el Mauto (*Lysiloma divaricata*) que domina ampliamente esta comunidad vegetal en las laderas de los cañones.

4.3.1.3 Vegetación de galería

Este tipo de vegetación se caracteriza principalmente por Mezquitales y Palmares con especies como: *Prosopis articulata*, *Prosopis glandulosa*, *Washingtonia robusta*, *Phoenix dactilifera*, entre otras. Se ubica a lo largo de los cauces de los principales cañones y cañadas subsidiarias, desde aproximadamente los 900 m de altitud y hacia la desembocadura de éstos a través de los cauces de arroyos por donde fluye agua todo o la mayor parte del año. Esta comunidad vegetal está caracterizada por el Güeribo (*Populus brandegeei* var. *glabra*) y palmares como la Palma negra o palmilla (*Erythea brandegeei*) y la Palma real o palma de hoja (*Washingtonia robusta*). Un encino endémico, el Encino bellotero (*Quercus brandegeei*) ocupa las zonas más bajas de esta agrupación, propiamente al nivel de la selva baja caducifolia. Las especies herbáceas están pobremente representadas, y proceden indistintamente de comunidades vegetales adjuntas.

4.3.2 Fauna Silvestre

El desarrollo de una riqueza biológica y de un endemismo tan alto se debe básicamente a su particular historia geológica (Arriaga, 1994).

4.3.2.1 Insectos

Jiménez (1988) citado por Rivera en 2010, investigando las familias de los arácnidos (24 familias), reporta 44 géneros con 61 especies. De estas últimas 19 son nuevas para la ciencia y 20 son nuevos registros no solamente para la región, sino para el estado de Baja California Sur. Sus géneros corresponden a: *Novalena* sp. (tres familias), *Ctenus* sp., *Dictina* sp. (dos familias), *Kukulcania* sp., *Arctosa* sp., *Pardosa* sp., *Oecobius* sp., *Tinus* sp., *Philodromus* sp., *Apollophanes* sp., *Physocyclus* sp., *Lyssomanes* sp., *Argyrodes* sp. (dos familias), *Misumenops* sp. (tres familias), *Xysticus* sp. y *Uloborus* sp.

4.3.2.2 Herpetofauna

Uno de los aspectos más importantes de la Región del Cabo (Álvarez, *et al.*, 1988), es el alto endemismo, tanto a nivel específico como subespecífico,

encontrando que de las 48 especies reportadas para la región, diecinueve de ellas son exclusivas de la península, además de trece subespecies restringidas. De estos endemismos peninsulares, encontraron que catorce especies y nueve subespecies de reptiles sólo se distribuyen en el estado, y de ellas ocho especies y tres subespecies únicamente existen en la región del Cabo, es decir desde el istmo de La Paz hasta la punta Sur de la península.

Álvarez, *et al.*, (1988), reportan en total 42 especies, cuatro anfibios, 18 lagartijas o cachoras, 19 serpientes y un anfisbénido, distribuidos en 16 familias y dos órdenes, de ellos ocho especies y tres subespecies son endémicas de la región.

La mayoría de las especies se distribuyen en la selva baja caducifolia, entre ellas están: *Sceloporus licki*, *S. hunsakeri*, *Petrosaurus thalassinus*, culebra prieta (*Nerodia valida*) y chirrionera del Cabo (*Masticophis aurigulus*); otras como *Xantusia vigilis* y *Elgaria paucicarinata* habitan principalmente en el bosque de pino-encino, en tanto que otras más son básicamente desérticas como la cachora (*Bipes biporus*) y la culebra nariz de hoja (*Phyllorhynchus decurtatus*). Dentro del grupo de los reptiles que son endémicos de la Región del Cabo, se puede decir que la Sierra La Laguna es el principal sitio de ocurrencia de *Pyllodactylus unctus*, *Petrosaurus thalassinus thalassinus*, los bejori (*Sceloporus licki*, *S. hunsakeri*, *Xantusia vigilis gilberti*, *Cnemidophorus maximus*) y la chirrionera del Cabo (*Masticophis aurigulus*). Los dos tipos de serpientes de cascabel de mayor presencia e interés son (*Crotalus mitchelli* y *C. enyo*).

4.3.2.3 Ornitofauna

Álvarez, *et al.*, (1988), señalan que de acuerdo a la situación de residencia se definen dos grupos de aves: las primeras, residentes reproductoras y reproductoras que migran después de completar su ciclo; y las segundas, aquellas aves que migran hacia la Región desde localidades norteñas, de mayores latitudes de la península. Se han registrado un total de 59 especies de aves residentes entre endémicas.

Dentro de las especies endémicas se encuentran: paloma serrana o paloma de collar (*Columba fasciata vioscae*), pitorreal o carpintero bellotero (*Melanerpes formiciborus angustifrons*), mosquerito común o pibi occidental (*Contopus sordidulus peninsulae*), mosquerito californiano o verdín (*Empidonax difficilis cineritius*), saltapalo (*Sitta carolinensis lagunae*), vireo olivaceo (*Vireo huttoni cognatus*), vireo gorgeador (*Vireo gilvus victoriae*), escabador (*Pipilo erythrophthalmus magnirostris*) y llamita o ojilumbre (*Junco phaeonotus*), entre otras.

4.3.2.4 Mastofauna

De las 47 especies reportadas para la Región del Cabo, Álvarez *et al.*, (1994 y Gallina, *et al.*, (1991, 1992) citado por Rivera en 2010, un total de 40 especies y cinco de posible ocurrencia, se distribuyen en el área de la Región, incluidas dentro de 6 órdenes, 17 familias y 33 géneros.

El matorral desértico (del nivel del mar a los 400 m de altitud) es el que cuenta con el mayor número de especies (41), de las cuales seis especies y dos subespecies sólo se encuentran distribuidas en esta zona, tres especies de lagomorfos: liebre (*Lepus californicus*), conejo matorralero (*Sylvilagus bachmani peninsulae*) y conejo cola blanca (*S. auduboni confinis*); y cinco especies de roedores, incluyendo al juancito (*Ammospermophilus leucurus extimus*), ratones de bolsa (*Chaetodipus baileyi extimus* y *C. dalquesti*), y el ratón ciervo (*Peromyscus maniculatus*); además de dos subespecies, la tuza (*Thomomys umbrinus anitae*), y la rata de campo (*Neotoma lepida arenacea*).

Dentro de los carnívoros los principales son: la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus peninsularis*), babisuri (*Bassariscus astutus palmarius*), zorrillo pinto (*Spilogale putorius lucasana*), mapache (*Procyon lotor grinnelli*), coyote (*Canis latrans peninsulae*) y gato montés (*Lynx rufus peninsularis*), se distribuyen ampliamente en todos los tipos de vegetación, con excepción del tejón (*Taxidea taxus*), que sólo ha sido observado en tierras bajas, y el puma (*Puma concolor*) del cual se han encontrado rastros de su presencia sólo en las partes más elevadas e inaccesibles. El orden artiodáctila está representado en la sierra por

una sola especie (2%), el venado bura (*Odocoileus hemionus*) que se encuentra distribuido en todos los tipos de vegetación y rangos altitudinales de la Región.

4.4 Metodología

4.4.1 Selección de la muestra

Se seleccionaron diferentes predios particulares y ejidos con potencial maderable para la obtención de los datos dasométricos requeridos para el estudio. Se utilizó un muestreo destructivo que consistió en derribar, seccionar y medir 160 árboles tratando de abarcar todas las categorías diamétricas por especie. 80 árboles de Mauto (*Lysiloma divaricata*) y los 80 restantes de Mezquite (*Prosopis articulata*), seleccionados a través de muestreo dirigido para representar todas las calidades de estación y clases de diámetro y altura; distribuidos en todas las condiciones topográficas y edáficas del área de la UMAFOR 0303.

4.4.2 Variables de medición

Las variables que se midieron a los árboles-muestra fueron las siguientes: diámetro normal con y sin corteza (D, en cm), altura total (H, en m), diámetro con y sin corteza (d, en cm); para cada una de las secciones se registró la altura a la que se encontró con respecto al suelo (h, en cm), de la misma manera para las ramas de cada individuo se midieron los diferentes diámetros con y sin corteza de todas las que sobrepasaron 6 cm en diámetro en su base; se consideró así porque diámetros menores no son de interés comercial.

Los individuos que presentaron una bifurcación por debajo de los 30 cm del suelo se consideraron como dos árboles, es decir se registraron los datos por separado; los individuos bifurcados por arriba de 30 cm y por debajo de 1.30 m se consideraron como un árbol, en caso de presentar dos o más tallos se obtuvo un promedio de los diámetros, de la misma manera se realizó la operación para el diámetro de copa y la altura; para los árboles que presentaron bifurcación después de 1.30 m se consideró un solo tallo.

Debido a que normalmente las funciones de perfil reportan estimaciones sesgadas en las secciones cercanas al nivel del suelo como consecuencia de una ausencia de datos (Barrio *et al.*, 2007), los árboles derribados se seccionan de manera intensiva dejando alturas máximas del tocón de 0.3 m sobre el nivel del suelo; después se obtienen dos secciones de 0.30 m por arriba del tocón, la siguiente sección corresponde con el diámetro normal (1.30 m), continuado con secciones de 0.5 m de longitud hasta llegar a la punta del árbol (Figura 1). En cada sección se midieron dos diámetros perpendiculares con y sin corteza y se estimó el diámetro medio.

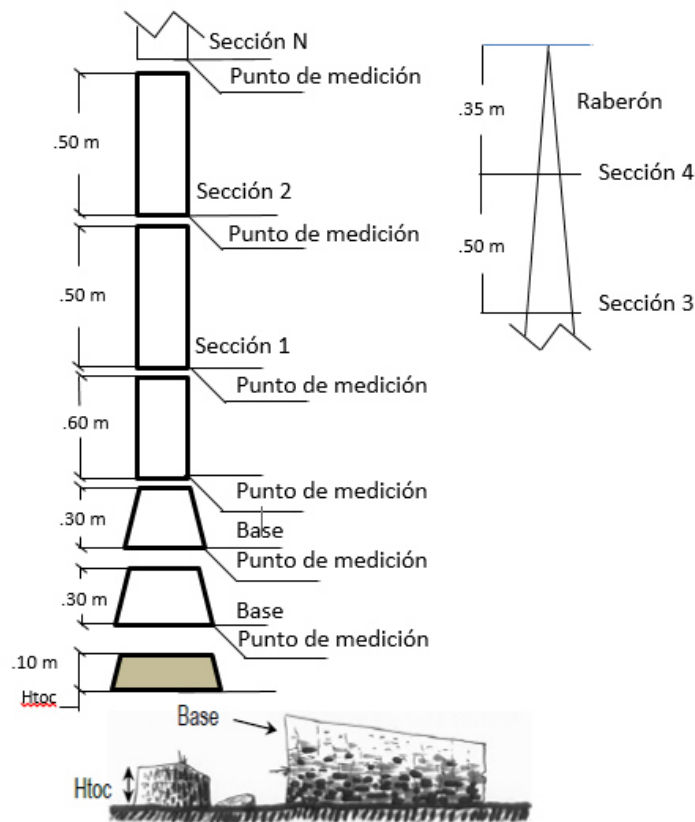


Figura 1. Representación gráfica de puntos de medición en las diferentes secciones de árboles

Los árboles que presentaron evidencia de algún corte, poda o daño no fueron tomados en cuenta en la muestra para que no influyeran con errores en la información. Se registraron datos generales en el formato de campo, esto incluye el número de árbol, coordenadas del sitio, altitud, pendiente y exposición. Para la cubicación de cada una de las secciones del fuste, desde el tallo hasta las

ramas con las características antes mencionadas, se utilizó la fórmula de Smalian.

$$V = \left(\frac{\left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) + \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right)}{2} \right) * L$$

Donde V es el volumen total árbol (m^3), D es el diámetro mayor (m), d es el diámetro menor (m) y L la longitud (m).

El volumen total del árbol resultó de la sumatoria de los volúmenes estimados para cada sección del árbol.

4.4.3 Determinación y cálculo de volumen comercial

El cálculo del volumen de cada árbol se realizó mediante el uso del Xilómetro (Principio de Arquímedes) que se basa en medir el desplazamiento del agua al sumergir un cuerpo sólido. El volumen total de cada árbol se calculó desde el tallo principal hasta ramas mayores a 6 cm de diámetro; para ello se procedió a la calibración del xilómetro considerando las repeticiones necesarias para la nivelación del mismo, antes de sumergir los troncos se tomó la lectura inicial y una vez sumergidos los troncos se registró la lectura final desplazada en centímetros para mayor exactitud.

El xilómetro que se utilizó para este estudio tuvo una capacidad de 200 litros, el recipiente estuvo graduado a lo alto en centímetros y milímetros (cm, mm) (Figura 2). Para el cálculo del volumen se utilizó la siguiente expresión:

$$V = \frac{(VF - VI) * (2.72)}{1000}$$

Dónde:

V = Volumen total del árbol

VI = Volumen inicial

VF = Volumen final

2.72 y 1000 son constantes validadas del Xilómetro



Figura 2. Xilómetro graduado con especificaciones y características técnicas requeridas para el estudio

4.4.4 Modelos de volumen

Generalmente se asume que el tronco de un árbol se puede asimilar a tres formas geométricas: un cono en la parte superior, un tronco de cono o un paraboloides en la sección central, y un tronco de cono o un neiloide en la parte basal (Husch *et al.*, 1982). El método más utilizado para describir estas formas es ajustar a cada una de ellas una función y buscar matemáticamente la manera de unir los puntos que separan los diferentes segmentos (Byrne y Reed, 1986), para lo que se imponen las condiciones de continuidad de la curva y de sus dos primeras derivadas.

Kozak (1988), introdujo los modelos de exponente variable, que asumen que la forma del tronco varía continuamente a lo largo de su altura y describen el perfil mediante una única ecuación en la que el exponente varía desde la base hasta el ápice, eliminando así la necesidad de desarrollar funciones para diferentes partes del tronco. Se trata básicamente de modelos alométricos, donde x e y son

respectivamente las variables independiente y dependiente, k es una constante y c es el término del exponente que describe las diferentes formas del tronco (neiloide, paraboloides, cono e intermedias entre estas). En comparación con los modelos simples y segmentados, los modelos de exponente variable generalmente proporcionan los menores sesgos y la mayor precisión en las estimaciones de diámetros a diferentes alturas (Kozak, 1988, 2004; Newnham, 1992).

Se ajustaron 30 ecuaciones, pertenecientes a la familia de las funciones alométricas lineales y no lineales, de una entrada (Tabla 8), de dos y más entradas (Tabla 9), con variables combinadas, mediante el programa estadístico SAS utilizando el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios y Mínimos Cuadrados Ponderados.

Tabla 8. Ecuaciones de una entrada para estimar el volumen de Mezquite y Mauto

Ecuación	Expresión
M1	$V = \beta_0 + \beta_1 * (D)^2$
M2	$V = \beta_0 * (D)^{\beta_1}$
M3	$V = \beta_0 * D + \beta_1 * (D)^2$
M4	$V = \beta_0 + \beta_1 * D + \beta_2 * (D)^2$
M5	$V = \beta_0 + \beta_1 * (DB)^2$
M6	$V = \beta_0 * (DB)^{\beta_1}$
M7	$V = \beta_0 * DB + \beta_1 * (DB)^2$
M8	$V = \beta_0 + \beta_1 * DB + \beta_2 * (DB)^2$
M9	$V = \beta_0 + \beta_1 * (H)^2$
M10	$V = \beta_0 * (H)^{\beta_1}$
M11	$V = \beta_0 * H + \beta_1 * (H)^2$
M12	$V = \beta_0 + \beta_1 * H + \beta_2 * (H)^2$
M13	$V = \beta_0 + \beta_1 * (DC)^2$

M14	$V = \beta_0 * (DC)^{\beta_1}$
M15	$V = \beta_0 * DC + \beta_1 * (DC)^2$

Donde V es el volumen (m^3), D el diámetro normal (cm), H la altura total (m), DB el diámetro a la base (cm), DC es el diámetro de copa (m), NR el número de ramas, VC la relación diámetro a la base al cuadrado (cm) por la altura (m) y β_0 , β_1 , β_2 son los parámetros a estimar.

Tabla 9. Ecuaciones de dos y más entradas para estimar el volumen de Mezquite y Mauto

Ecuación	Expresión
M16	$V = \beta_0 * (D)^{\beta_1} * (H)^{\beta_2}$
M17	$V = \beta_0 * (D)^2 * H$
M18	$V = \beta_0 * (D * H)^{\beta_1}$
M19	$V = \beta_0 + \beta_1 * (D)^2 * H$
M20	$V = \beta_0 + \beta_1 * H + \beta_2 * (D)^2 * H$
M21	$V = \beta_0 + \beta_1 * (DB)^2 * H + \beta_2 * DC$
M22	$V = \beta_0 + \beta_1 * (DB)^2 * H$
M23	$V = \beta_0 + \beta_1 * (D)^2 * H$
M24	$V = \beta_0 + \beta_1 VC + \beta_2 NR$
M25	$V = \beta_0 + \beta_1 VC + \beta_2 DC$
M27	$V = \beta_0 + \beta_1 VC$
M29	$V = \beta_0 * (D^2)^{\beta_1} * (H)^{\beta_2} * (NR)^{\beta_3}$
M30	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 H + \beta_3 NR$

Donde V es el volumen (m^3), D el diámetro normal (m), H la altura total (m), DB el diámetro a la base (m), DC es el diámetro de copa (m), NR el número de ramas, VC la relación diámetro a la base al cuadrado (cm) por la altura (m) y β_0 , β_1 , β_2 son los parámetros a estimar.

4.4.5 Criterios para la bondad de ajuste de los modelos

La selección de la alternativa de ajuste depende de si el uso principal del sistema será la estimación del volumen total, la estimación del volumen por destinos comerciales, la estimación de diámetros a distintas alturas o una mezcla entre estas dos últimas. También debe considerarse que los volúmenes reales generalmente no se conocen, ya que se suelen calcular por las fórmulas de Smalian o Huber, que sólo dan resultados exactos para trozas de los tipos dendrométricos cilindro y paraboloide, y cubican por exceso y por defecto, respectivamente, para trozas con perfiles en forma de cono y de neiloide

(Diéguez-Aranda *et al.*, 2003). Este problema se hace más importante en las trozas basales, en las que se acumula más volumen (Husch *et al.*, 1982). Por tal motivo, algunos autores (p. ej., Martin, 1984) indican que la información resultante de comparar el volumen obtenido mediante integración de la función de perfil y el volumen proporcionado por la fórmula de Smalian es limitada, debido a que las estimaciones de la función de perfil no se comparan con volúmenes reales, sino simplemente con segundas estimaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, los modelos se ajustaron considerando de forma independiente la función de perfil, optimizándose de este modo la estimación de diámetros a distintas alturas, para luego obtener tarifas de volumen total y de volumen hasta cierta altura.

Para la evaluación del ajuste de los modelos se utilizó el análisis gráfico y numérico, tomando en cuenta el valor más alto de coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), el valor más pequeño de la raíz del error medio cuadrático (RCME), las representaciones gráficas y el nivel de significancia de los parámetros.

$$R^2_{ajustado} = 1 - (n - 1) \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p} / \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$$

$$RCME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p}}$$

Dónde: γ_i , $\hat{\gamma}_i$, $\bar{\gamma}_i$ son valores observados, estimados y media del volumen, n y p son el número de observaciones y de parámetros respectivamente.

Significancia de los parámetros: La significancia de los modelos es de gran importancia dentro de la investigación científica, ya que si los parámetros no son significativos, aun cuando los demás indicadores como el coeficiente de

determinación R^2 y la RCME representen una gran efectividad, el modelo no predice correctamente la variable dependiente. Si un parámetro no es significativo con un nivel de confiabilidad al 5%, sugiere que dicho parámetro no contribuye para predecir la variable que se estima (Soto, 2011), el volumen en este caso.

4.4.6 Análisis de heterocedasticidad

Torres y Magaña, (2001) citado por Jiménez y Mendía, (2013) mencionan que es común que la mayor parte de los modelos de volumen sufran problemas de heterocedasticidad dado que a mayores valores de diámetro y altura la variación en los volúmenes de los árboles se hace más grande, lo que hace necesaria la corrección con el uso de Mínimos Cuadrados Ponderados. Una vez corregida con este procedimiento se obtienen estimadores insesgados, eficientes y persistentes.

El análisis gráfico de los residuos estudentizados frente a los valores estimados con los modelos seleccionados puede mostrar problemas de heterocedasticidad, por lo que fue necesario realizar la corrección a través de regresión ponderada, que consistió en asignar una variable de peso igual a la inversa de cada observación. Dicha varianza σ_i^2 , que es desconocida, se estimó utilizando la función exponencial $\sigma_i^2 = \gamma \cdot D^k$. Los valores de γ del exponente k se optimizaron mediante la metodología propuesta por Harvey (1976), que consiste en emplear los errores del modelo ajustado sin pesos como variable dependiente en el modelo potencial de varianza del error.

4.4.7 Test de White

El test de White se construye regresando los residuos al cuadrado contra el conjunto de variables explicativas y sus cuadrados, siendo la hipótesis nula la existencia de homoscedasticidad. La aparente heteroscedasticidad podría provenir de la heterogeneidad en los datos de base. Esta prueba no requiere supuestos previos como, por ejemplo, la normalidad de las perturbaciones. Por otro lado, tal y como se verá a continuación, la prueba no exige determinar a priori

las variables explicativas de la heterocedasticidad (lo cual no es necesariamente una virtud) y es por esta razón por lo que se denomina “prueba general”.

En este contraste la idea subyacente es determinar si las variables explicativas del modelo, sus cuadrados y todos sus cruces posibles no repetidos sirven para determinar la evolución del error al cuadrado. Es decir; si la evolución de las variables explicativas y de sus varianzas y covarianzas son significativas para determinar el valor de la varianza muestral de los errores, entendida ésta como una estimación de las varianzas de las perturbaciones aleatorias.

El proceso a seguir para realizar este contraste sería el siguiente:

1. Estimar el modelo original por MCO, determinando la serie de los errores. Escrito esto en forma matricial para un modelo con "n" observaciones y "k" variables explicativas:

$$Y = X\beta + U$$

$$\hat{\beta} = [X'X]^{-1}X'Y$$

$$\hat{\beta} = X\hat{\beta}$$

$$e = Y - \hat{Y}$$

2. Estimar un modelo en el que la endógena sería los valores al cuadrado de los errores obtenidos previamente (paso 1) con todas las variables explicativas del modelo inicial, sus cuadrados y sus combinaciones no repetidas.

$$e_i^2 = a_0 + a_1a_{1i} + \dots + a_kx_{ki} + a_{k+1}x_{li}^2 + \dots + a_{k+k}x_{ki}^2 + a_{k+k+1}x_{li}x_{2i} \\ + a_{k+k+2}x_{li}x_{3i} + \dots + a_{3k+1}x_{2i}x_{3i} + \dots + \varepsilon_i$$

3. El valor de la R_e^2 de este segundo modelo (paso 2) dirá si las variables elegidas sirven o no para estimar la evolución variante del error al cuadrado, representativo de la varianza estimada de las perturbaciones aleatorias. Evidentemente, si la varianza de éstas fuera constante (homocedasticidad), el carácter no constante de las variables explicativas

implicadas en el modelo no serviría para explicar la endógena, luego la R_e^2 debiera ser muy pequeña.

En principio, la R_e^2 , como proporción de la varianza de la endógena real que queda explicada por la estimada, debiera ser muy pequeña si la capacidad explicativa de los regresores considerados también es muy pequeña, siendo estos regresores, por su construcción, representativos de varianzas y covarianzas de todas las explicativas del modelo original. Dicho esto, evidentemente un valor de la R^2 suficientemente pequeño servirá para concluir que no existe heterocedasticidad en el modelo producida por los valores de las explicativas consideradas en el modelo inicial. Para encontrar el valor crítico en esa consideración de “suficientemente pequeño” se emplea la expresión deducida por Breusch y Pagan como producto del coeficiente R^2 por el número de datos del modelo, que se distribuiría del siguiente modo:

$$n * R_e^2 \rightarrow X_{p-1}^2$$

En definitiva, si obtiene un valor del producto $n * R_e^2$ mayor que el reflejado por las tablas de X_{p-1}^2 , afirmaremos que existe heterocedasticidad, y viceversa, si este valor es más pequeño diremos que se mantiene la homocedasticidad (luego la hipótesis nula de este contraste es la homocedasticidad).

Otro modo de contrastar la existencia de heterocedasticidad en el modelo a partir de la validez o no de los parámetros incluidos en la regresión propuesta por White vendría dado por el valor del contraste de significación conjunta F. Si dicho contraste afirmara que, en conjunto, las variables explicadas tienen capacidad explicativa sobre la endógena, se estaría afirmando la presencia de heterocedasticidad en el modelo (de Arce, 2009).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Estadísticos descriptivos para Mezquite

En la Tabla 10 se muestran los estadísticos descriptivos de la base de datos utilizados para la especie Mezquite (*Prosopis articulata*). Se presenta los rangos de distribución que presentaron las variables diámetro normal (D), altura total de los árboles (H), diámetro a la base (DB), diámetro de copa (DC), número de ramas (NR) y volumen total (V), observándose que se cubrió un amplio rango de las variables independientes utilizadas en el ajuste de las ecuaciones, condición que es necesaria para que las predicciones no queden fuera del rango de valores observados de estas variables, lo que puede conducir a errores de estimación.

Tabla 10. Estadísticos descriptivos de la base de datos para Mezquite

Variable	Estadísticos			
	Máximo	Mínimo	Media	SD
D	42.500	7.600	23.966	9.552
H	10.580	3.530	6.502	1.577
DB	52.000	11.500	29.244	10.639
DC	8.500	1.000	3.659	1.865
NR	7.000	0.000	1.175	1.111
VT	0.6026	0.0132	0.1824	0.1383

Donde VT es el volumen (m^3), D el diámetro normal (cm), H la altura total (m), DB el diámetro a la base (cm), DC es el diámetro de copa (m) y NR el número de ramas.

5.2 Tendencia de los datos de Mezquite

En la Figura 3 se puede observar la tendencia de los pares de datos volumen diámetro normal-altura total, para Mezquite. El tamaño de muestra por categoría diamétrica varió debido a la abundancia de árboles de ciertas dimensiones en la zona de estudio, se abarcaron diámetros desde 7.6 a 42.5 cm, observándose que la mayor frecuencia se encuentra entre 10 y 30 cm, asimismo en altura los valores de frecuencia se encontraron entre 5 a 10 m.

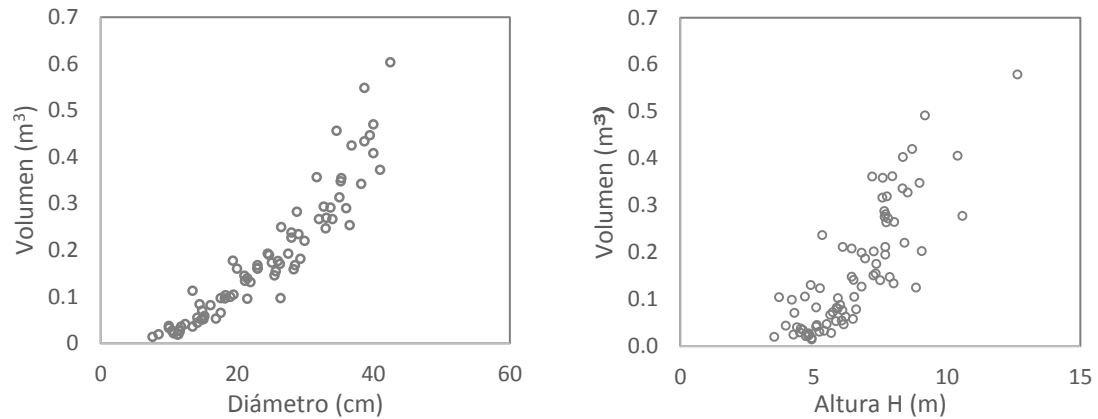


Figura 3. Gráficas de dispersión de los pares de datos de Volumen-Diámetro y Volumen-Altura para Mezquite

5.3 Tarifa de volumen de una entrada para Mezquite

En la Tabla 11 se muestran los parámetros y estadísticos de bondad del ajuste de las ecuaciones de volumen de una entrada para Mezquite. Se puede observar que los valores más altos de los R^2 y menores RCME se lograron con las ecuaciones que incluyen como variable independiente al diámetro normal (M1-M4), seguidos de aquellas ecuaciones que consideraron al diámetro a la base (M5-M8); por el contrario, los ajustes de las ecuaciones que incluyen la altura total de los árboles y el diámetro de la copa, presentaron ajustes menos eficientes.

Tabla 11. Estadísticos de bondad de ajuste y parámetros de las ecuaciones de una entrada para Mezquite

Ecuación	Parámetro	Valor	P-L	R^2	RCME	Sesgo
M1	β_0	-0.000579	0.944160	0.90527794	0.0428437	-0.0064217
	β_1	0.000275	0.000000			
M2	β_0	0.000239	0.006913	0.90545388	0.04280389	-0.0049428
	β_1	2.040151	0.000000			
M3	β_0	-0.000143	0.844973	0.90531866	0.04283449	-0.0057673
	β_1	0.000279	0.000000			
M4	β_0	0.015291	0.640635	0.90558798	0.04305038	-0.0064217
	β_1	-0.001457	0.616504			
	β_2	0.000304	0.000001			
M5	β_0	0.007830	0.634133	0.67344067	0.07955041	-0.0064217
	β_1	0.000181	0.000000			
M6	β_0	0.000285	0.173503	0.67382001	0.0795042	-0.0066161
	β_1	1.884223	0.000000			
M7	β_0	0.000696	0.566656	0.67386939	0.07949818	-0.0067407

	β_1	0.000168	0.000002			
M8	β_0	-0.021695	0.747456	0.67431109	0.07995853	-0.0064217
	β_1	0.002250	0.651367			
	β_2	0.000143	0.092382			
M9	β_0	-0.015847	0.548211	0.47238585	0.10111594	-0.0012141
	β_1	0.004434	0.000000			
M10	β_0	0.004311	0.081651	0.46996466	0.10134768	-0.0032696
	β_1	1.980832	0.000000			
M11	β_0	-0.002338	0.771932	0.47050001	0.10129648	-0.0021356
	β_1	0.004454	0.000099			
M12	β_0	-0.384000	0.031339	0.50162254	0.09891053	-0.0019025
	β_1	0.113632	0.036764			
	β_2	-0.003852	0.330449			
M13	β_0	0.078094	0.000003	0.52686768	0.09575307	-0.0064217
	β_1	0.006201	0.000000			
M14	β_0	0.041600	0.000039	0.53692929	0.09472946	-0.0054247
	β_1	1.122390	0.000000			
M15	β_0	0.042871	0.000001	0.53827914	0.09459129	-0.0036454
	β_1	0.001464	0.308367			

5.3.1 Corrección de la heterocedasticidad

En la Figura 4 (a) se presenta el análisis de los residuos del M2 seleccionado para las estimaciones de volumen de Mezquite, el cual mostró una tendencia en aumento conforme incrementa el volumen predicho. Además, los resultados de la Prueba de White confirmaron la presencia de heterocedasticidad en la ecuación.

Una vez hecha la corrección por Mínimos Cuadrados Ponderados (Figura 4 (b)) se volvió a aplicar la Prueba de White que indicó que las varianzas de los errores son constantes u homocedásticas.

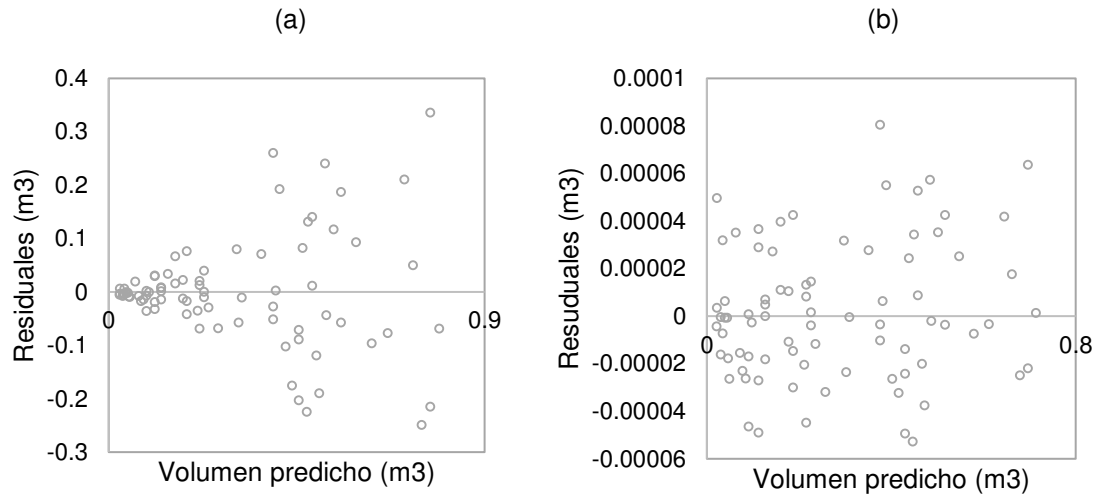


Figura 4. Volúmenes predichos contra residuales con evidencia (a) y corrección de heterocedasticidad (b) en la ecuación M2 para Mezquite

En la Tabla 12 se muestran los estadísticos de ajuste y los estimadores de los parámetros para Mezquite obtenidos por el método de Mínimos Cuadrados Ponderados de la ecuación M2, que fue la seleccionada por presentar mejores resultados en los estadísticos de bondad de ajuste por Mínimos Cuadrados Ordinarios.

Tabla 12. Estadísticos de ajuste para Mezquite corregidos por Mínimos Cuadrados Ponderados para el modelo M2

Ecuación	Expresión	R ²	RCME	Parámetros	
				β_0	β_1
M2	$V = \beta_0 * (D)^{\beta_1}$	0.9035	0.043243	0.000235	2.036293

5.4 Tarifa de volumen de dos y tres entradas para Mezquite

Con base en el análisis, para el Mezquite todas las ecuaciones de dos entradas mostraron buenos ajustes, superiores a los que consideran una variable independiente. Con R² entre 0.80 y 0.91 y RCME que van desde 0.04 hasta 0.06, con ligeras mejorías los que involucran como variables independientes el diámetro y la altura; sin embargo, algunos no cumplen con el nivel de significancia seleccionado (5%). El modelo 16 (M16) tiene la mayor R², la menor RCME un sesgo muy cercano a cero y parámetros significativos, razón por la cual fue seleccionado para elaborar la tabla de volumen (Tabla 13).

Tabla 13. Estadísticos de bondad de ajuste y parámetros de las ecuaciones de dos y tres entradas para Mezquite

Ecuación	Parámetro	Valor	P-L	R ²	RCME	Sesgo
M16	β_0	0.0002	0.0048	0.9186	0.0400	0.00022
	β_1	1.8681	0.0001			
	β_2	0.4061	0.0014			
M17	β_0	0.0000	0.0001	0.8838	0.0471	0.01417
M18	β_0	0.0003	0.0231	0.8574	0.0525	-0.00043
	β_1	1.2604	0.0000			
M19	β_0	0.0289	0.0002	0.9024	0.0435	-0.00032
	β_1	0.0000	0.0001			
M20	β_0	0.0791	0.0025	0.9075	0.0425	-0.00022
	β_1	-0.0100	0.0418			
	β_2	0.0000	0.0001			
M21	β_0	0.0020	0.8952	0.8057	0.0617	0.00132
	β_1	0.0000	0.0001			
	β_2	0.0103	0.0724			
M22	β_0	0.0208	0.0761	0.7974	0.0627	-0.00003
	β_1	0.0000	0.0001			
M23	β_0	0.0189	0.0172	0.9136	0.0412	-0.04354
	β_1	0.0000	0.0001			
	β_2	0.0141	0.0023			
M24	β_0	0.0174	0.1141	0.9050	0.0431	-0.05745
	β_1	0.0000	0.0001			
	β_2	0.0056	0.1476			
M25	β_0	0.0289	0.0002	0.9024	0.0435	-0.06197
	β_1	0.0000	0.0001			
M26	β_0	-0.0629	0.0035	0.9176	0.0405	-0.00005
	β_1	0.0002	0.0001			
	β_2	0.0116	0.0030			
	β_3	0.0072	0.1155			

5.4.1 Corrección de la heterocedasticidad

Se aplicó la Prueba de White para la ecuación de dos entradas M16 para Mezquite, lo que mostró la presencia de heterocedasticidad (Figura 5 (a)), la corrección se hizo por Mínimos Cuadrados Ponderados, se volvió a aplicar la Prueba de White resultando los valores de significancia (p) superiores al 5% que indica que las varianzas de los errores son constantes u homocedásticas (Figura 5 (b)).

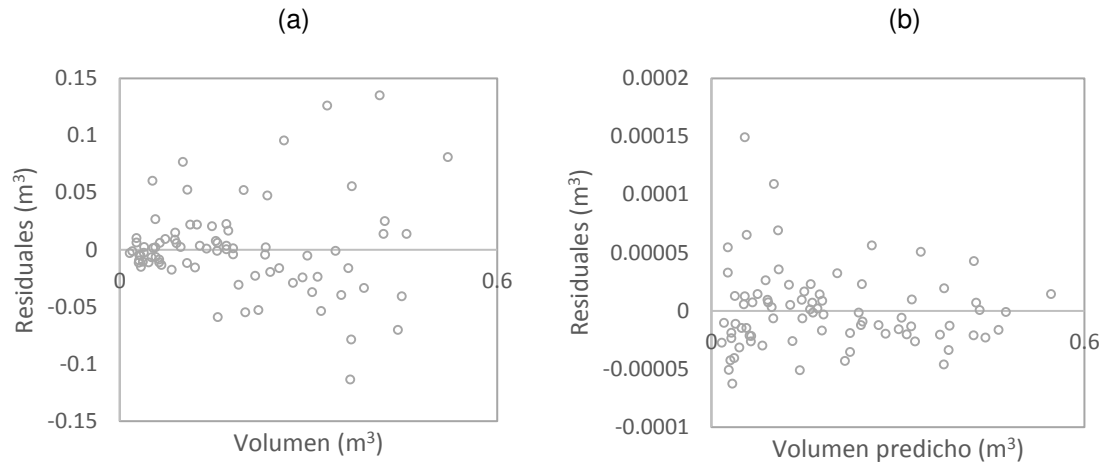


Figura 5. Volúmenes predichos contra residuales con evidencia (a) y corrección de heterocedasticidad (b) en la ecuación M16 para Mezquite.

La expresión final de la ecuación M16 corregida por Mínimos Cuadrados, se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Estadísticos de ajuste corregidos por Mínimos Cuadrados Ponderados para el modelo M16 para Mezquite

Ecuación	Expresión	R ²	RCME	Parámetros		
				β_0	β_1	β_2
M16	$V = \beta_0 * (D)^{\beta_1} * (H)^{\beta_2}$	0.9139	0.0411	0.000158	1.8085	0.6158

5.5 Estadísticos descriptivos para Mauto

La Tabla 15 muestra los estadísticos descriptivos de la base de datos utilizada para la especie Mauto; se presentan rangos de distribución que mostraron las variables diámetro normal (D), altura total de los árboles (H), diámetro a la base (DB), diámetro de copa (DC), número de ramas (NR) y volumen total (V) Se cubrió un amplio rango de las variables independientes utilizadas en el ajuste de las ecuaciones, condición que es necesaria para que las predicciones no queden fuera del rango de valores observados de estas variables, lo que puede conducir a errores de estimación.

Tabla 15. Estadísticos descriptivos de la base de datos para Mauto

Variable	Estadísticos			
	Máximo	Mínimo	Media	SD
D	41.0	8.90	24.185	9.438
H	12.2	3.50	9.460	2.315

DB	53.5	10.00	28.915	11.274
DC	13	1.50	5.082	2.938
VT	1.106	0.02	0.293	0.245
NR	3.0	0.00	1.773	1.020

Donde VT es el volumen (m^3), D el diámetro normal (cm), H la altura total (m), DB el diámetro a la base (cm), DC es el diámetro de copa (m) y NR el número de ramas.

5.6 Tendencia de los datos para Mauto

En la Figura 6 es posible observar la tendencia de los pares de datos volumen-diámetro normal, para Mauto. El tamaño de muestra por categoría diamétrica varió debido a la abundancia de árboles de ciertas dimensiones en la zona de estudio, se abarcaron diámetros desde 8.9 hasta 41 cm; observándose que la mayor frecuencia se encuentra entre 10 y 30 cm para diámetro y entre 5 a 12 m para altura.

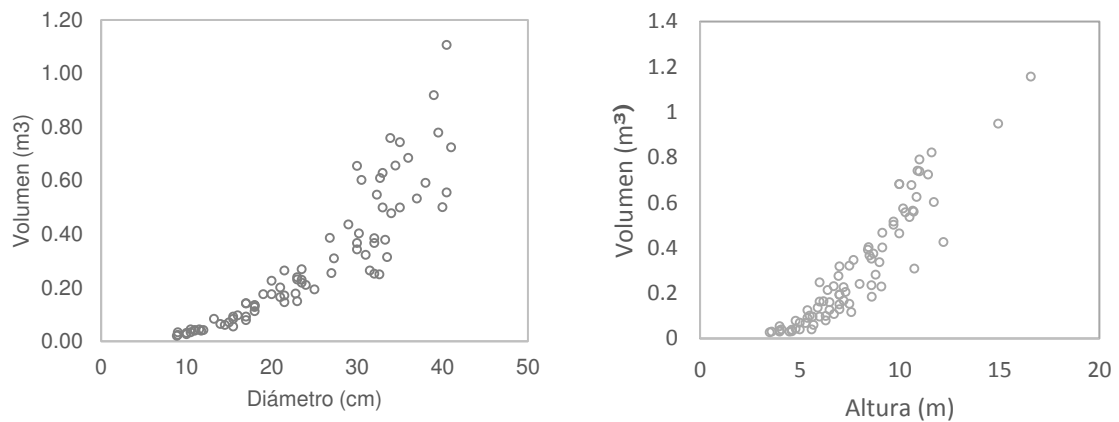


Figura 4. Gráficas de dispersión de los pares de datos de Volumen-Diámetro y Volumen-altura para Mauto

5.7 Tarifa de volumen de una entrada para Mauto

En la Tabla 16 se muestran los parámetros y estadísticos de bondad del ajuste de las ecuaciones de volumen de una entrada para Mauto. Se puede observar que los valores más altos de los R^2 y menores RCME se lograron con las ecuaciones que incluyen como variable independiente al diámetro normal (M1-M4), seguidos de aquellas ecuaciones que consideraron al diámetro a la base (M5-M8); por el contrario, los ajustes de las ecuaciones que incluyen la altura total de los árboles y el diámetro de la copa, presentaron ajustes menos eficientes.

Tabla 16. Estadísticos de bondad de ajuste y parámetros de las ecuaciones de una entrada para Mauto

Cuadro 1. Ecuación	Parámetro	Valor	P-L	R2	RCME	Sesgo
M1	β_0	-0.0271	0.1809	0.8287	0.1019	2.0052E-10
	β_1	0.0005	0.0000			
M2	β_0	0.0002	0.0924	0.8294	0.1016	-0.000427
	β_1	2.2339	0.0000			
M3	β_0	-0.0026	0.1498	0.8293	0.1017	0.00035825
	β_1	0.0005	0.0000			
M4	β_0	0.0176	0.8268	0.8294	0.1023	3.9996E-11
	β_1	-0.0041	0.5665			
	β_2	0.0006	0.0002			
M5	β_0	0.0160	0.5498	0.6795	0.1393	-5.649E-10
	β_1	0.0003	0.0000			
M6	β_0	0.0009	0.6392	0.6918	0.1366	0.28615368
	β_1	1.7021	0.0002			
M7	β_0	0.0025	0.1836	0.6853	0.1381	-0.0062446
	β_1	0.0002	0.0000			
M8	β_0	-0.2812	0.0059	0.7150	0.1322	1.7601E-10
	β_1	0.0217	0.0027			
	β_2	-0.0001	0.6231			
M9	β_0	-0.0337	0.3535	0.5821	0.1591	-4.627E-11
	β_1	0.0051	0.0000			
M10	β_0	0.0040	0.1017	0.5780	0.1599	-0.005714
	β_1	2.0782	0.0000			
M11	β_0	-0.0067	0.5008	0.5799	0.1595	-0.0023334
	β_1	0.0054	0.0000			
M12	β_0	-0.3027	0.1371	0.5919	0.0985	8.7213E-11
	β_1	0.0743	0.1788			
	β_2	0.0004	0.8987			
M13	β_0	0.1529	0.0000	0.4518	0.1822	-8.223E-17
	β_1	0.0041	0.0000			
M14	β_0	0.0565	0.0008	0.4191	0.1876	0.0069449
	β_1	1.0055	0.0000			
M15	β_0	0.0525	0.0000	0.4208	0.1873	0.01102998
	β_1	0.0006	0.6259			

5.7.1 Corrección de la heterocedasticidad

En la Figura 6 (a) se presenta el análisis de los residuos del M2 seleccionado para las estimaciones de volumen de Mauto, el cual mostró una tendencia en aumento conforme incrementa el volumen predicho. Además, los resultados de

la Prueba de White confirmaron la presencia de heterocedasticidad en la ecuación.

Una vez hecha la corrección por Mínimos Cuadrados Ponderados (Figura 6 (b)) se volvió a aplicar la prueba de White que indicó que las varianzas de los errores son constantes u homocedásticas.

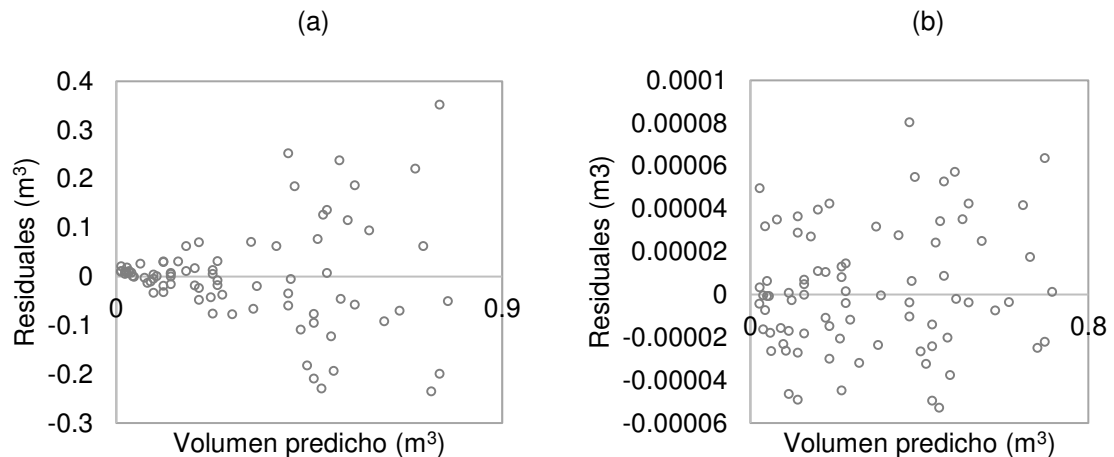


Figura 6. Volúmenes predichos contra residuales con evidencia (a) y corrección de heterocedasticidad (b) en la ecuación M2 para Mauto

En la Tabla 17 se muestran los estadísticos de ajuste y los estimadores de los parámetros para Mauto obtenidos por el método de Mínimos Cuadrados Ponderados de la ecuación M2, que fue seleccionada por presentar mejores resultados en los estadísticos de bondad de ajuste por Mínimos Cuadrados Ordinarios.

Tabla 17. Estadísticos de ajuste corregidos por Mínimos Cuadrados Ponderados para el modelo M2 para Mauto

Ecuación	Expresión	R ²	RCME	Parámetros	
				β_0	β_1
M2	$V = \beta_0 * (D)^{\beta_1}$	0.8178	0.1048	-0.013	0.000433

5.8 Tarifa de volumen de dos y tres entradas para Mauto

Todas las ecuaciones de dos entradas (M16-M25) presentaron buenos ajustes, superiores a los que consideran una variable independiente; con R² entre 0.75 y 0.86 y RCME que van desde 0.09 hasta 0.1, con ligeras mejoras los que

involucraron como variables independientes el diámetro y la altura; sin embargo, algunos no cumplen con el nivel de significancia seleccionado (5%), por lo que se seleccionó la ecuación M18 por su buen ajuste y nivel de significancia de los estimadores de los parámetros (Tabla 18).

Tabla 18. Estadísticos de bondad de ajuste y parámetros de las ecuaciones de dos y tres entradas para Mauto

Ecuación	Parámetro	Valor	P-L	R2	RCME	Sesgo
M16	β_0	0.0002	0.0866	0.8336	0.1010	-0.0010269
	β_1	2.0014	0.0001			
	β_2	0.3275	0.1717			
M17	β_0	0.000046	0.0001	0.8044	0.1081	0.01737528
M18	β_0	0.0001	0.0878	0.7977	0.1107	-0.0026761
	β_1	1.3632	0.0001			
M19	β_0	0.0403	0.0279	0.8162	0.1055	0.00106051
	β_1	0.0000	0.0001			
M20	β_0	0.0646	0.2648	0.8167	0.1060	-0.0005477
	β_1	-0.0045	0.6572			
	β_2	0.000044	0.0001			
M21	β_0	-0.0771	0.0005	0.8625	0.0919	-0.0035862
	β_1	0.0000	0.0001			
	β_2	0.0368	0.0001			
M22	β_0	0.0730	0.0023	0.6786	0.1395	-0.0031733
	β_1	0.0000	0.0001			
M23	β_0	-0.0424	0.1836	0.7525	0.1232	-0.0011981
	β_1	0.0000	0.0001			
	β_2	0.0507	0.0001			
M24	β_0	-0.0771	0.0005	0.8625	0.0919	-0.0035862
	β_1	0.0000	0.0001			
	β_2	0.0368	0.0001			
M25	β_0	0.0730	0.0023	0.6786	0.1395	-0.0031733
	β_1	0.0000	0.0001			
M27	β_0	0.0730	0.0023	0.6786	0.1395	6.7808E-10
	β_1	0.2563	0.0000			
M29	β_0	0.3999	0.2358	0.8155	0.1071	0.00919616
	β_1	0.8254	0.0000			
	β_2	0.6953	0.0116			
	β_3	0.4464	0.0000			
M30	β_0	-0.1632	0.0006	0.8668	0.0910	-1.882E-10
	β_1	3.9522	0.0000			
	β_2	0.0130	0.0890			
	β_3	0.0356	0.0000			

5.8.1 Corrección de la heterocedasticidad

Se aplicó la Prueba de White para la ecuación de dos entradas M18 para Mauto, lo que demostró la presencia de heterocedasticidad (Figura 7 (a)), la corrección se realizó por Mínimos Cuadrados Ponderados, se volvió a aplicar la prueba de White resultando los valores de significancia (p) superiores al 5% que indica que las varianzas de los errores son constantes u homocedásticas (Figura 7 (b)).

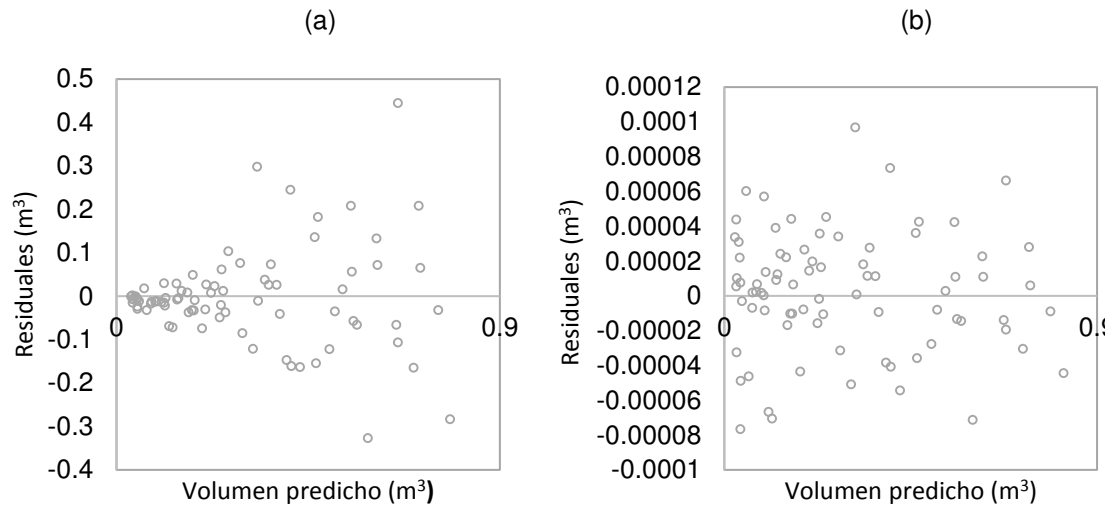


Figura 7. Volúmenes predichos contra residuales con evidencia (a) y corrección de heterocedasticidad (b) en la ecuación M18 para Mauto

La expresión final de la ecuación M18 corregida por Mínimos Cuadrados Ponderados se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19. Estadísticos de ajuste para Mauto corregidos por Mínimos Cuadrados Ponderados para el modelo M18

Ecuación	Expresión	R ²	RCME	Parámetros	
				β_0	β_1
M18	$V = \beta_0 * (D * H)^{\beta_1}$	0.7936	0.1118034	0.100997	1.363298

Bustillos (2012), realizó estudio para *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede, en la UMAFOR 1008 El Salto, Durango, donde ajustó el modelo con 379 árboles, concluyendo que el modelo alométrico de Berkhout ajusta muy bien y además es confiable para la estimación de volúmenes de fuste total.

Hernández *et. al.*, (2014) por el contrario, ajustaron modelos en el Ejido San Antonio de la Sierrecilla, municipio de Mazapil, Zacatecas donde realizaron un muestreo destructivo de 39 árboles, utilizando variables diferentes para la predicción del volumen, siendo estas: diámetro de copa y altura total en cm. Utilizaron un modelo polinomial resultando el volumen de mezquite (m^3) = $2,341E^{-6}X^2-0,0012X+0,1803$ y la determinación de peso fresco (kg)= $0,001X^2-0,556X+81,909*D$ con 95% de confiabilidad.

Jiménez y Mendía (2014) compararon modelos para predecir el volumen total de *Arbutus spp*, en la región de Pueblo Nuevo, Durango, utilizando las variables diámetro normal, diámetro de la base, diámetro de copa y la altura total, tomando como criterios de selección del mejor modelo, la raíz del cuadrado medio del error, el coeficiente de determinación, así como el nivel de significancia de los parámetros. Los resultados obtenidos mostraron que el mejor modelo ajustado, de dos entradas (diámetro y altura), fue Schumacher-Hall, demostrando su confiabilidad para la estimación de volumen total, la predicción del volumen tomando en cuenta las variables antes mencionadas hace coincidir la confiabilidad del modelo aplicado en estudios de distintas especies, como resulta en este estudio para la especie de mezquite.

Pérez (2014), comparó diferentes ecuaciones para la estimación del volumen de *Lysiloma divaricata* en predios particulares de la región de la Paz, B.C.S., obteniendo resultados distintos en comparación a este estudio; donde el mejor modelo presentado a partir de los resultados obtenidos, fue aquel que utilizó tres variables, las cuales fueron: diámetro normal, altura total y numero de ramas, un resultado diferente al obtenido en este estudio, donde el mejor modelo fue el de Spurr potencial, el cual utilizó como variables independientes el diámetro normal y la altura total.

Rueda *et. al.*, (2014) indicaron que el mejor modelo para predecir el volumen total de *Prosopis glandulosa* Torr. es Schumacher $V= \beta_0 *d^{\beta_1}* h^{\beta_2}$, el cual presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.8803, error estándar (Sx) de 0.02557, coeficiente de variación (CV%) de 41.71 % e Índice de Furnival (IF) de 0.02804,

coincidiendo con este estudio donde la predicción para el volumen de mezquite en la UMAFOR 303 por medio del modelo Schumacher-Hall presentó mejores ajustes.

Soto (2011), confirmó ajustes al comparar modelos para predecir el volumen total de *Prosopis laevigata*, en la región del norte de México, utilizando las variables, diámetro normal y la altura total, coincidiendo con este estudio, donde el modelo de Schumacher-Hall presentó los mejores ajustes.

Soto (2011), coincide con este estudio, evaluó dos metodologías, para la predicción del volumen total de *Prosopis laevigata*, en el municipio de Linares N.L. México, utilizando las variables diámetro normal y la altura total, confirmó que ambas son útiles para estimar de manera confiable el volumen total, utilizando el método del Xilómetro y cubicación por medio de modelos, utilizando la siguiente ecuación: $a_0 + a_1d + a_2d \cdot h + a_3d^2 + a_4d^2d$.

Torres y Magaña (2001) mencionan que los mejores resultados del ajuste de las ecuaciones de volumen son obtenidos a partir de las variables diámetro normal y altura total.

6. CONCLUSIONES

Utilizando como variable independiente el diámetro normal, se obtuvieron mejores ajustes en el modelo M2 (alométrico de Berkhout) para Mezquite y Mauto, recomendándose para cubicación de las especies de estudio por su grado de practicidad y simpleza.

El ajuste de los modelos con tres o más variables independientes no mejoró la capacidad predictiva de los modelos que contenían solamente al diámetro normal y a la altura, para ambas especies, por lo que para la estimación del volumen total de estas especies es suficiente contar con las variables diámetro y altura total.

El mejor modelo de ajuste para la estimación de volumen de Mezquite (*Prosopis articulata*), se obtuvo con la ecuación matemática M16 (Schumacher-Hall) la cual considera el diámetro normal y la altura total como variables independientes y el mejor modelo de ajuste para la estimación de volumen de Mauto (*Lysiloma divaricata*) se obtuvo por medio de la ecuación matemática M18 (Spurr potencial), la cual considera dentro de sus entradas el diámetro normal y la altura total.

El uso del sistema volumétrico permitirá a los manejadores del bosque del estado de Baja California Sur hacer un mejor aprovechamiento de las masas forestales de las especies de Mezquite y Mauto de una forma ordenada, sin alterar el equilibrio del ecosistema, ni poner en riesgo la capacidad de recuperación del mismo.

Es conveniente la implementación de sistema de cubicación volumétrica para Mezquite y Mauto, ya que por medio de este se ofrecerán nuevas alternativas de administración y organización, a corto, mediano y largo plazo de los recursos forestales de la UMAFOR 303.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta M. M. y Carrillo A. F. 2008. Tabla de volumen total con y sin corteza para *Pinus montezumae* Lamb. en el estado de Hidalgo. Folleto Técnico No. 7. INIFAP. Campo Experimental Pachuca. Pachuca, Hgo. 20 p.
- Arriaga, L. y A. Ortega, (eds.). 1988. La Sierra de La Laguna en Baja California Sur, Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California A.C., La Paz, Baja California Sur, México.
- Arriaga, L. y J. L. León de la Luz 1989. "The Tropical Deciduous Forest of Baja California Sur, Mexico: A. Floristic and Vegetational Analysis", *Vegetation*. 84:45-52
- Arriaga, L y A. Breceda. 1999. Tropical Dry Forests of the Cape Region of the Baja California Peninsula, P. Ffolliott y A. Ortega (eds.). *Ecology and Management of Forests, Woodlands, and Shrub Lands in the Dry Lands Regions of the United States and México: Perspectives for the 21th Century*, U. Arizona, CIB y USDA Forest Service.
- Barrio A. M. 2003. Crecimiento y producción de masas naturales de *Quercus robur* L. en Galicia. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Barrio A. M., Álvarez G. J. G., Díaz M. I. J. 2004. Elaboración de una tarifa con clasificación de productos para *Quercus robur* L. en Galicia basada en un modelo de volumen porcentual. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* 13(3), 506-517.
- Breceda, A. 1994. *La selva baja caducifolia y la vegetación de fondo de cañada en la Sierra de la Laguna*, Baja California Sur, tesis de maestría, Facultad de Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur, México, 1996.
- Byrne, J., Reed, D. 1986. Complex compatible taper and volume estimation systems for red and loblolly pine. *For. Sci.* 32, 423-443.

Bustillos, A. E. G. 2012. Sistema volumétrico para *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede en la UMAFOR 1008 El Salto. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de El Salto, P. N. Dgo. 54 p.

Castedo D. F. 2004. Modelo dinámico de crecimiento para las masas de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Simulación de alternativas silvícolas con inclusión del riesgo de incendio. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

Castedo, F., Álvarez G. J. G. 2000. Construcción de una tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Pinus radiata* D. Don en Galicia basada en una función de perfil del tronco. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. 9, 253-268.

Corral R. J. J., Diéguez A. U., Corral R. S., Castedo D. F. 2007. A merchantable volume system for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). For. Ecol. Manage. 238, 118-129.

de Arce, R., Mahía, R., & Definición, I. (2001). Conceptos básicos sobre la heterocedasticidad en el modelo básico de regresión lineal tratamiento con e-views. *Universidad Autónoma de Madrid. Abril de*, 10-15.

Diéguez A. U., Barrio A. M., Castedo D. F., Ruiz G. A. D., Álvarez T. M. F., Álvarez G. J. G., Rojo, A. 2003. Dendrometría. Fundación Conde del Valle de Salazar, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Diéguez A. U., Castedo D. F., Álvarez G. J.G., Rojo, A. 2006. Compatible taper function for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in northwestern Spain. Can. J. For. Res. 36, 1190-1205.

Fang, Z., Borders, B.E., Bailey, R.L. 2000. Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. For. Sci. 46, 1-12.

Hernández, H. J. A., L.M. Valenzuela N., A. Flores H. y J.C. Ríos S. 2014. Análisis dimensional para determinar volumen y peso de madera de mezquite (*Prosopis L.*). *Madera y Bosques* 20(3):155-161.

Husch, B. 1963. Forest mensuration and statistics. Ronald Press Company. New York. USA. 474 p.

Husch, B., Miller, C.I., Beers, T.W. 1982. Forest mensuration. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.

Jiménez A. y Mendía R. 2014. Tarifas de volumen para *Arbutus* spp (madroño) en la región de Pueblo Nuevo, Durango. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de El Salto. El Salto, P. N. Dgo. 30 p.

Kozak, A. 1998. Effects of upper stem measurements on the predictive ability of a variable-exponent taper equation. *Can. J. For. Res.* 28, 1078-1083.

León de la Luz, J. L., *et al.* 1988. "Aspectos Florísticos". Arriaga, L. y Ortega, A. (eds.), *La Sierra de La Laguna en Baja California Sur*, Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California A.C., La Paz, Baja California Sur.

León de la Luz, J. L.; J. J. Perez N.; M. Dominguez y R. Dominguez. 1999. *Listados florísticos de México: Flora de la Región del Cabo de Baja California Sur, México*, Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Vol. XVIII, UNAM, México.

Martin, A.J. 1981. Taper and volume equations for selected Appalachian hardwood species. USDA Forest Service, Res. Pap. NE-490.

Martin, A. J. 1984. Testing volume equation accuracy with water displacement techniques. *For. Sci.* 30, 41-50.

Meza, R. 2002. Metodología para evaluar las poblaciones de mezquite (*Prosopis* spp). Folleto Técnico No. 6. INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Todos Santos. La Paz, B. C. S. México. 46 p.

Meza, R. y Osuna E. 2003. Estudio dasométrico del mezquite en la zona de Las Pocitas, Baja California Sur. Folleto Científico No. 3. INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Todos Santos. La Paz, Baja California Sur. México. 56 p.

Novo, N., Rojo, A., Álvarez G., J.G. 2003. Funciones de perfil del tronco y tarifas de cubicación con clasificación de productos para *Pinus sylvestris* L. en Galicia. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. 12, 123-136.

Pérez, R. G. 2014. Tarifas de volumen para *Lysiloma divaricata* (Mauto) en la región de La Paz, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de El Salto. P.N. Dgo. 52 p

Ramírez V. B., Piña R. H., Medina T. S. M., Martínez R. R., Rojo M. G. E., Cong H. M., Rodríguez S. E. N.,(2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, Enero-Junio, 173-193

Reyna-Trujillo, T (1990), "Divisiones florísticas" en Tópicos fitogeográficos (provincias, matorral xerófilo y cactáceas. IV.8.3. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:8000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Rivera C. *et al.* 2010. Estudio Regional Forestal UMAFOR 0303 Sierra La Laguna. La Paz, Baja California Sur, México.

Romero, H. A. E. 2005. Tablas de volúmenes para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, en su área de distribución natural, en los estados de Puebla y Veracruz. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 51 p.

Rueda M. O. 2014. Modelos y tablas de predicción de volumen para (*Prosopis glandulosa* Torr). en norte de Coahuila. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 60 p.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México, D.F.

Rzedowski, J. y Reyna T. T. 1990. "Divisiones florísticas" en Tópicos fitogeográficos provincias, matorral xerófilo y cactáceas. IV.8.3. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:8000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Soto, C. E. 2011. Análisis metodológico para estimar volumen, biomasa y carbono retenido en mezquite (*Prosopis laevigata*) de la Región Norte Centro de México. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de El Salto. El Salto, P. N. Dgo. 88 p.

Soto, H. A. 1991. Elaboración de una tarifa volumétrica para mezquite (*Prosopis laevigata*) (Humb. & Bonpl es Willd.) M.C. Johnst. En el Mpio. de Linares Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 50 p.

Spurr, S. H. 1952. Forest Inventory. The Ronald Press company. USA. 40 p.

Torres, R., J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de Plantaciones Forestales. Ed. LIMUSA, México. 473 p

Ucha, P. 2004. Análisis de funciones de perfil de tronco y construcción de una tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Eucalyptus globulus* Labill. en Galicia. Trabajo de investigación fin de carrera. Universidad de Santiago de Compostela.

Vargas L. B., Cruz. C. F., Corral. R. J. J., Lujan. S. J. E. 2012. Ecuaciones de Volumen Total y Comercial para las especies maderables de la UMAFOR 1008 El Salto. Informe Técnico. 37 p.

8. ANEXOS

8.1 Tabla de volumen de una entrada para *Prosopis articulata* (Mezquite)

Ecuación	Expresión	R ²	RCME	Parámetros	
				β_0	β_1
M2	$V = \beta_0 * (D)^{\beta_1}$	0.9035	0.043243	0.000235	2.036293

$$V = 0.000235 * (D)^{2.036293}$$

V = Volumen (m³)

D = Diámetro normal (cm)

D	Volumen
6	0.0090
8	0.0162
10	0.0255
12	0.0370
14	0.0506
16	0.0665
18	0.0845
20	0.1047
22	0.1272
24	0.1510
26	0.1788
28	0.2079
30	0.2392
32	0.2728
34	0.3087
36	0.3468
38	0.3872
40	0.4298
42	0.4747
44	0.5219
46	0.5713
48	0.6231
50	0.6771

8.2 Tabla de volumen de dos entradas para *Prosopis articulata* (Mezquite)

Ecuación	Expresión	R2	RCME	Parámetros		
				β_0	β_1	β_2
M16	$V = \beta_0 * (D)^{\beta_1} * (H)^{\beta_2}$	0.9139	0.04110961	0.000158	1.80849	0.615814

$$V = 0.000158 * (D)^{1.80849} * (H)^{0.615814}$$

V = Volumen (m³)

D = Diámetro normal (cm)

H = Altura total (m)

D/H	2	4	6	8	10	12	14
6	0.0062	0.0095	0.0122	0.0146			
8	0.0104	0.0160	0.0205	0.0245			
10	0.0156	0.0239	0.0307	0.0367			
12	0.0217	0.0333	0.0427	0.0510	0.0585		
14	0.0287	0.0440	0.0564	0.0674	0.0773		
16	0.0365	0.0560	0.0719	0.0858	0.0984	0.1101	
18	0.0452	0.0693	0.0889	0.1062	0.1218	0.1363	
20	0.0547	0.0838	0.1076	0.1284	0.1474	0.1649	
22	0.0650	0.0996	0.1278	0.1526	0.1751	0.1959	
24	0.0761	0.1165	0.1496	0.1786	0.2049	0.2293	0.2521
26	0.0879	0.1347	0.1729	0.2064	0.2368	0.2650	0.2913
28	0.1005	0.1540	0.1977	0.2360	0.2708	0.3030	0.3331
30	0.1139	0.1745	0.2240	0.2674	0.3068	0.3432	0.3774
32	0.1280	0.1961	0.2517	0.3005	0.3447	0.3857	0.4241
34		0.2188	0.2809	0.3353	0.3847	0.4304	0.4733
36		0.2426	0.3115	0.3718	0.4266	0.4773	0.5248
38		0.2676	0.3434	0.4100	0.4704	0.5263	0.5787
40			0.3768	0.4499	0.5161	0.5775	0.6350
42			0.4116	0.4914	0.5637	0.6307	0.6935
44			0.4477	0.5345	0.6132	0.6861	0.7544
46				0.5792	0.6646	0.7435	0.8176
48				0.6256	0.7177	0.8030	0.8830
50				0.6735	0.7727	0.8645	0.9506

8.3 Tabla de volumen de una entrada para *Lysiloma divaricata* (Mauto)

Ecuación	Expresión	R ²	RCME	Parámetros	
				β_0	β_1
M2	$V = \beta_0 * (D)^{\beta_1}$	0.8178	0.1048	-0.013	0.000433

$$V = -0.013 * D^{0.000433}$$

V = Volumen (m³)

D = Diámetro normal (cm)

D	Volumen
6	0.0090
8	0.0162
10	0.0255
12	0.0370
14	0.0506
16	0.0665
18	0.0845
20	0.1048
22	0.1272
24	0.1519
26	0.1788
28	0.2079
30	0.2392
32	0.2728
34	0.3087
36	0.3468
38	0.3872
40	0.4298
42	0.4747
44	0.5219
46	0.5713
48	0.6231
50	0.6771

8.4 Tabla de volumen de dos entrada para *Lysiloma divaricata* (Mauto)

Ecuación	Expresión	R ²	RCME	Parámetros	
				β_0	β_1
M18	$V = \beta_0 * (D * H)^{\beta_1}$	0.7936	0.1118034	0.00019	1.363298

$$V = 0.100997 * (D * H)^{1.363298}$$

V = Volumen (m³)

D = Diámetro normal (cm)

H = Altura total (m)

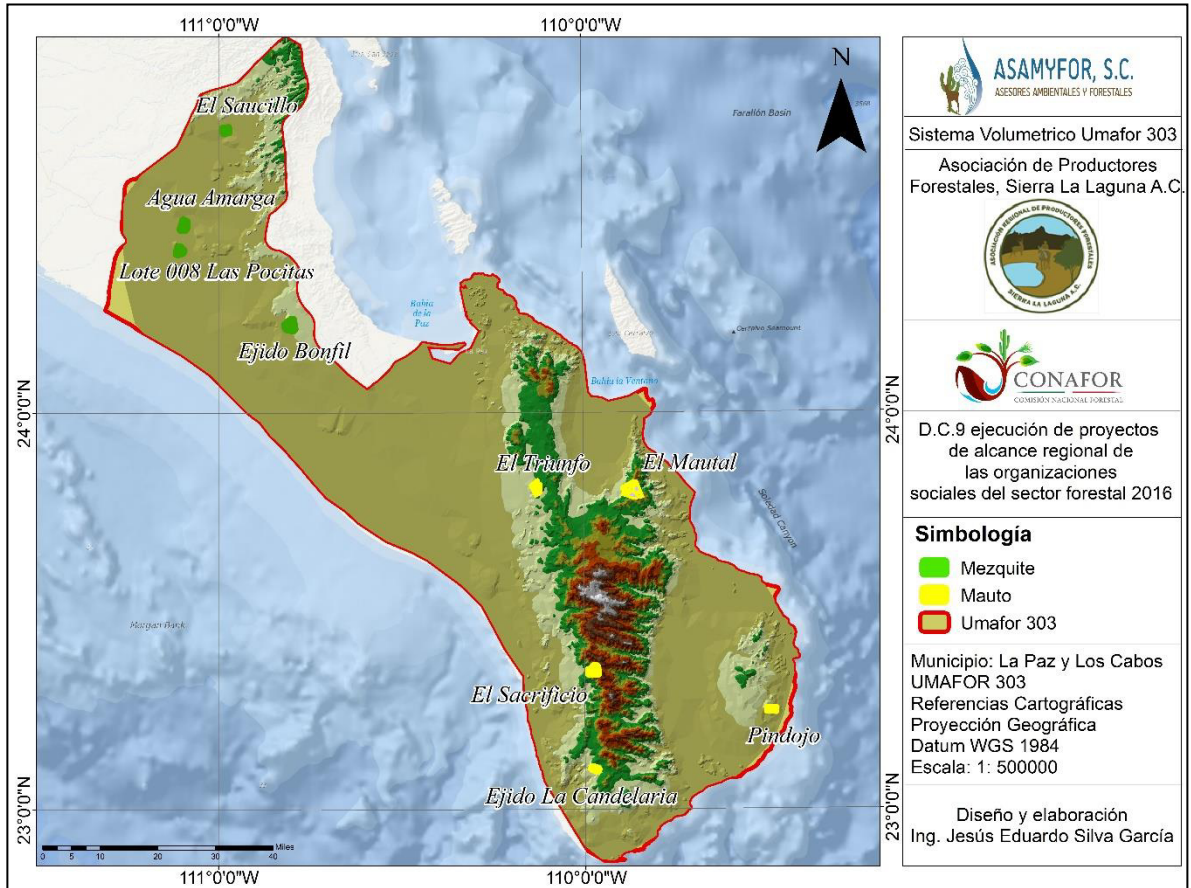
D/H	2	4	6	8	10	12	14
6	0.0056	0.0145	0.0251	0.0372			
8	0.0083	0.0214	0.0372	0.0551			
10	0.0113	0.0290	0.0505	0.0747			
12	0.0145	0.0372	0.0647	0.0958	0.1298		
14	0.0179	0.0459	0.0798	0.1182	0.1602		
16	0.0214	0.0551	0.0958	0.1418	0.1922	0.2464	
18	0.0251	0.0647	0.1124	0.1665	0.2256	0.2893	
20	0.0290	0.0747	0.1298	0.1922	0.2605	0.3340	
22	0.0331	0.0851	0.1478	0.2188	0.2966	0.3803	
24	0.0372	0.0958	0.1665	0.2464	0.3340	0.4282	0.5284
26	0.0415	0.1068	0.1856	0.2748	0.3725	0.4776	0.5893
28	0.0459	0.1182	0.2054	0.3040	0.4121	0.5284	0.6520
30	0.0505	0.1298	0.2256	0.3340	0.4527	0.5805	0.7163
32	0.0551	0.1418	0.2464	0.3647	0.4944	0.6339	0.7821
34		0.1540	0.2676	0.3961	0.5370	0.6885	0.8495
36		0.1665	0.2893	0.4282	0.5805	0.7443	0.9184
38		0.1792	0.3114	0.4610	0.6249	0.8012	0.9886
40		0.1922	0.3340	0.4944	0.6702	0.8593	1.0602
42			0.3570	0.5284	0.7163	0.9184	1.1332
44			0.3803	0.5630	0.7632	0.9785	1.2074
46				0.5982	0.8108	1.0396	1.2828
48				0.6339	0.8593	1.1018	1.3594
50				0.6702	0.9085	1.1648	1.4372

8.5 Formato para la captura de datos ecologico, silvícolas y dasométricos requeridos para el estudio

[illegible]

Elaboración de un sistema volumétrico en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, para Mezquite (*Prosopis articulata*) y Mauto (*Lysiloma divaricata*)

8.6 Localización de los predios y ejidos donde se ubicó la muestra de árboles correspondientes para el estudio volumetrico



8.7 Anexo fotográfico



Fotografía 1. Identificación arboles muestra para el estudio volumétrico



Fotografía 2. Medición de la variable Dn (diámetro normal) a la altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo

Elaboración de un sistema volumétrico en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, para Mezquite (*Prosopis articulata*) y Mauto (*Lysiloma divaricata*)



Fotografía 3. Derribo direccional de muestras representativas para el estudio volumétrico



Fotografía 4. Árbol derribado direccionalmente, de acuerdo a lineamientos previamente establecidos

Elaboración de un sistema volumétrico en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, para Mezquite (*Prosopis articulata*) y Mauto (*Lysiloma divaricata*)



Fotografía 5. Medición de la altura del tocón para las especies de estudio



Fotografía 6. Medida de la base o diámetro del tocón para las especies estudiadas

Elaboración de un sistema volumétrico en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, para Mezquite (*Prosopis articulata*) y Mauto (*Lysiloma divaricata*)



Fotografía 7. Marqueo de la secciones a trozar para su cubicación correspondiente



Fotografía 8. Seccionado de árboles a dimensiones establecidas en el estudio

Elaboración de un sistema volumétrico en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, para Mezquite (*Prosopis articulata*) y Mauto (*Lysiloma divaricata*)



Fotografía 9. Medida del diámetro menor y mayor de las diferentes secciones del arbolado



Fotografía 10. Acomodo de secciones fustales para procesos posteriores

Elaboración de un sistema volumétrico en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, para Mezquite (*Prosopis articulata*) y Mauto (*Lysiloma divaricata*)



Fotografía 11. Proceso de empaque a las secciones de los arboles muestra para su cubicación



Fotografía 12. Empaque fustal de secciones de las especies de estudio para cubicación en Xilómetro

Elaboración de un sistema volumétrico en la UMAFOR 303 Sierra La Laguna, para Mezquite (*Prosopis articulata*) y Mauto (*Lysiloma divaricata*)



Fotografía 13. Sumersión de trozas para cubicación por medio de Xilómetro



Fotografía 14. Toma de datos de las trozas sumergidas para la cubicación por el método de Arquímedes